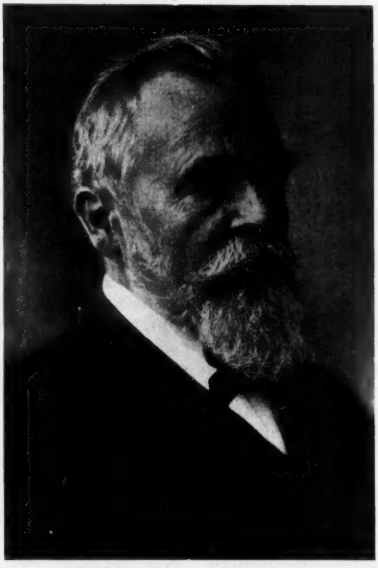
DIE NATURWISSENSCHAFTEN

30. Jahrgang | 7. August 1942 | Heft 32

Zur 100. Wiederkehr des Geburtstages von Carl von Linde.

Von W. MEISSNER, München.

Vor 100 Jahren, am 11. Juni, wurde CARL VON LINDE geboren, vor etwa 50 Jahren, im Alter von 53 Jahren, schuf er sein Luftverflüssigungsverfahren, das seinen Namen in der ganzen Welt bekannt machte. Schon in den zwei vorhergehenden Jahrzehnten hatte er wissenschaftliche und technische Leistungen vollbracht, besonders hinsichtlich der Kompressionskaltdampfkältemaschine, die für die Kältetechnik bahnbrechend waren. Auf sie werde aber mit Rücksicht auf den Leserkreis dieser Zeitschrift nicht näher eingegangen. Erwähnt sei nur folgendes: Gerade die Beschäftigung mit der Kohlensäurekompressionsmaschine brachte LINDE, wie er selbst in einer Veröffentlichung angibt[1]), auf den Gedanken, den Joule-Thomson-Effekt für die Luftverflüssigung zu benutzen. Die Kohlensäuremaschine gab nämlich oberhalb des kritischen Punktes, also ohne Verdampfung flüssiger Kohlensäure, allein durch Entspannung der Kohlensäure in einem Ventil, noch Kälteleistungen, die nur auf dem Joule-Thomson-Effekt beruhen konnten. Bei der Luftverflüssigung ging LINDE nun so vor: Die kleine Temperatursenkung der Luft durch den Joule-Thomson-Effekt bei der Drosselentspannung in einem einfachen Ventil verwendete er in einem Gegenstromapparat, an dessen kaltem Ende das Ventil angebracht war, um die Temperatur allmählich bis zur Kondensationstemperatur der Luft (−193° bei 1 Atm Druck) zu senken. Die zum Ventil hinströmende Druckluft wird durch die vom Ventil durch ein das Druckluftrohr umgebendes Rohr zurückströmende, etwas kältere Luft vorgekühlt, so daß die Temperatur vor dem Ventil und infolgedessen auch die hinter ihm allmählich sinkt.



D. Carl v. Linde.

Der Gedanke, den Joule-Thomson-Effekt zu benutzen, war völlig neu; insbesondere hat ihn HAMPSON erst von LINDE übernommen. Auch auf das Gegenstromprinzip ist LINDE seiner Angabe nach selbständig gekommen; doch ist dasselbe schon früher von WILHEM SIEMENS angegeben worden. — Schon bei seinem ersten Versuchsapparat verwendete LINDE den sog. Hochdruckkreislauf, bei dem die Luft nicht auf 1 Atm., sondern nur auf einen höheren Druck entspannt wird. LINDE ließ sich dabei durch die THOMSON-JOULEsche Formel leiten, nach der die Temperatursenkung gegeben ist durch $j = a(p_1 - p_0)/T_1^2$. Dabei ist p_1 der Druck vor, p_0 der Druck hinter dem Ventil, T_1 die Temperatur vor dem Ventil und a eine Konstante. Da die Kompressionsarbeit etwa proportional $ln\, p_1/p_0$ ist, erhält man bei gleicher Kompressionsarbeit beispielsweise die 20fache Temperatursenkung, wenn man von 200 auf 20 statt von 10 auf 1 Atm. entspannt. Eine weitere Verbesserung erreichte LINDE dadurch, daß er am warmen Ende des Gegenströmers mit einer Ammoniakkältemaschine auf etwa −35° vorkühlte. Dadurch steigt der Joule-Thomson-Effekt am warmen Ende des Gegenströmers nach der Formel von THOMSON und JOULE proportional T_z^2/T_a^2, wenn T_z die Zimmertemperatur und T_a die Vorkühltemperatur ist. Daß der Effekt am warmen Ende, nicht der am kalten, für die Kälteleistung maßgebend ist, zeigte LINDE für den Anlaufvorgang schon in seiner ersten Veröffentlichung über sein Verfahren. Aber auch der im Beharrungszustand verflüssigte Bruchteil der durch den Gegenströmer gehenden Luft hängt nur von dem Zustand am warmen Ende des Gegenströmers ab, wie MEISSNER später zeigte. LINDE wurde durch seine Versuche noch zur theoretischen Ableitung einer Formel für den Zusammenhang zwischen der Temperatursenkung j durch den Joule-Thomson-Effekt und der Veränderlichkeit

[1]) C. LINDE, Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Münchener Kälteversuchsstation. Z. VDI 47, 1071 (1903). — Ein vollständiges Verzeichnis von LINDES Veröffentlichungen ist von mir in der Z. ges. Kälteind. 49 (1942) zusammengestellt.

der spezifischen Wärme c_p geführt, die folgendermaßen lautet: $c_p = c_{p0}(1 - dj/dT)$. Hierbei ist j die Temperatursenkung beim Entspannen vom Druck p auf den Druck p_0. Diese aus dem Energieprinzip folgende Formel bleibt immer richtig, während die THOMSON-JOULEsche Formel für j nur beschränkte Gültigkeit hat. Wir wissen heute, daß es eine Inversionskurve des Joule-Thomson-Effektes gibt, so daß er je nach Temperatur, Druck und Druckgefälle bei der Entspannung positiv, Null oder negativ sein kann. Eine Entspannung bei Zimmertemperatur gibt bei Wasserstoff und Helium keine Abkühlung, sondern Erwärmung. Indem DEWAR am warmen Ende des Gegenströmers mit flüssiger Luft vorkühlte, konnte er aber schon 1898 Wasserstoff nach dem LINDEschen Verfahren verflüssigen. Durch entsprechende Vorkühlung mit flüssigem Wasserstoff, der durch Abpumpen der Dämpfe nahezu bis zum Tripelpunkt $-259°$ abgekühlt war, gelang KAMERLINGH-ONNES 1908 die Verflüssigung des Heliums bei $-269°$. Läßt man das Helium unter vermindertem Druck sieden, so kommt man bei Verwendung von Pumpen großer Leistung dem absoluten Nullpunkt $-273{,}16°$ bis auf etwa $0{,}8°$ nahe.

Für die Technik sind diese tiefsten Temperaturen noch nicht von großer Bedeutung, wenn auch flüssiger Wasserstoff schon für technische Zwecke verwendet wird. In dem mit flüssiger Luft erreichbaren Temperaturgebiet bis $-200°$ aber ist durch die LINDEsche Erfindung der Technik ein ungeahnt fruchtbares Arbeitsfeld erstanden. Als besondere Erfolge der Tieftemperaturtechnik seien hier nur angeführt: Gewinnung von reinem Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff aus der Luft bzw. aus Wassergas und Koksofengas zum Schweißen und Schneiden, zur Synthese von Ammoniak und Herstellung von Dünger und Sprengstoff, zur Hydrierung der Kohle und Herstellung von Benzin; Gewinnung von Äthylen aus Koksofengas als Ausgangsstoff für die Polymerisationsverfahren zur Herstellung von Gummi u. dgl.; Erzeugung von Äthan, Propan und Butan als Treibgas; Gewinnung von Argon, Krypton-Xenon-Gemisch und Neon zum Füllen von Glühlampen und Leuchtröhren. Für diese technischen Erfolge war es von größter Bedeutung, daß es LINDE gelang, die bei Alkohol üblichen Rektifikationseinrichtungen so abzuändern, daß das Rektifikationsverfahren auch bei der extrem tiefen Temperatur der flüssigen Luft möglich wurde. Der vollkommenste LINDEsche Rektifikationsapparat ist der Zweisäulenapparat mit unterer Drucksäule, bei dem der Stickstoff in sinnreicher Weise am oberen Ende der Drucksäule durch den unter 1 ata Druck stehenden flüssigen Sauerstoff verflüssigt wird, der sich am unteren Ende der oberen Säule bildet.

Den Leserkreis dieser Zeitschrift werden mehr als die technischen Erfolge die Fortschritte interessieren, die auf dem Gebiet der Physik durch die LINDEsche Gasverflüssigungsmethode ermöglicht wurden. Es ist wohl nicht zuviel behauptet, wenn man sagt, daß durch die tiefen und tiefsten Temperaturen dem Physiker eine ganz neue Welt erschlossen wurde. Allerdings mußte er sich diese neue Welt erst sehr erkämpfen. Bei der Temperatur des flüssigen Heliums zu experimentieren, ist ungleich schwieriger, als Versuche bei Zimmertemperatur anzustellen. Denn zunächst muß ja das Helium verflüssigt und dazu zunächst flüssiger Wasserstoff hergestellt werden. Für beide Zwecke ist eine umfangreiche Apparatur nötig, deren Handhabung bezüglich des Wasserstoffs sogar nicht ungefährlich ist. (Darauf, daß man Helium auch ohne flüssigen Wasserstoff verflüssigen kann, komme ich noch weiter unten zurück.) Ist aber an der auf tiefe Temperatur gebrachten Versuchsapparatur etwas nicht in Ordnung, so läßt sich der Fehler meist erst am nächsten Tage, wenn alles wieder warm ist, beheben, und die ganze Arbeit des Wasserstoff- und Heliumverflüssigens war vergeblich. Es kommt also auf gründlichste Vorbereitung und sicherste Experimentierkunst an. Dadurch erklärt es sich, daß nur an wenigen Stellen in tiefsten Temperaturen gearbeitet wurde und gearbeitet wird. Als erstes Kältelaboratorium ist das von KAMERLINGH ONNES in Leiden gegründete, jetzt von KEESOM und DE HAAS geleitete Institut zu nennen, in dem ONNES 1908, wie bereits erwähnt, zum ersten Male nach dem Linde-Verfahren Helium verflüssigte. Von den zahlreichen dort durchgeführten Arbeiten seien nur die folgenden genannt: Messungen mit Gasthermometern, Widerstandsthermometerm und Dampfdruckthermometern zur Festlegung der Temperaturskala in tiefen Temperaturen. Bestimmung der Zustandsgleichung von Wasserstoff und Helium in gasförmigem und flüssigem Zustand. Messungen über die thermischen Eigenschaften von festem Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff sowie über ihre Dielektrizitätskonstanten. Bestimmung der spezifischen Wärme von zahlreichen Stoffen, insbesondere Metallen. Bestimmung der Zähigkeit der verflüssigten Gase. Messung des elektrischen Widerstandes von Metallen und Legierungen und Ermittlung ihrer magnetischen Eigenschaften. Viele überraschende Ergebnisse wurden dabei erzielt. Insbesondere wurde die Supraleitfähigkeit verschiedener Metalle und Legierungen, d. h. das völlige Verschwinden des elektrischen Widerstandes innerhalb eines kleinen Temperaturintervalles, und die Abhängigkeit der Supraleitfähigkeit von Belastungsstrom und Magnetfeld entdeckt, sowie das seltsame Verhalten des flüssigen Heliums. Dort, wo der Tripelpunkt desselben zu erwarten wäre, geht das oberhalb des Punktes vorhandene flüssige Helium I in flüssiges Helium II über, das ganz andere Eigenschaften als das erstere, z. B. viel größere Wärmeleitfähigkeit und viel geringere Zähigkeit, hat und deswegen auf Gefäßwandungen von einem Gefäß in das umgebende Gefäß hinüberkriecht. Seine Natur ist immer noch nicht völlig geklärt. Daß aber Helium II unter

seinem Dampfdruck nicht fest wird, sondern, wie es scheint, bis zum absoluten Nullpunkt flüssig bleibt, ist für das Experimentieren in tiefsten Temperaturen sehr angenehm, da man so ein Flüssigkeitsbad hat.

Das zweite Kältelaboratorium für tiefste Temperaturen wurde ganz nach dem Muster des Leidener in Toronto (Kanada) von McLENNAN eingerichtet. In ihm wurde auch viel über Supraleitung gearbeitet, ohne daß etwas ganz Neues herausgefunden wurde.

In Deutschland hat zuerst NERNST mit seinen Schülern, z. B. EUCKEN und POLLITZER, umfangreiche Messungen mit flüssigem Wasserstoff angestellt, den er mit einem von ihm selbst entworfenen kleinen, nach dem Linde-Prinzip arbeitenden Verflüssiger herstellte. Diese Messungen bezogen sich hauptsächlich auf den Abfall der spezifischen Wärme fester Körper in tiefen Temperaturen und bestätigten das NERNSTsche Wärmetheorem, das sich mit M. PLANCK am einfachsten dahin formulieren läßt, daß die Entropie am absoluten Nullpunkt verschwindet.

Ein großes Kältelaboratorium für tiefste Temperaturen, also auch für Arbeiten mit flüssigem Helium mit neuartigen, aber auch nach dem Linde-Verfahren arbeitenden Verflüssigern, wurde in Zusammenarbeit mit der Linde-Gesellschaft 1925 bis 1927 von W. MEISSNER in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt eingerichtet. Mit den Mitteln dieses Laboratoriums wurden von HENNING, HEUSE, OTTO u. a. Messungen mit Gasthermometern, Widerstandsthermometern und Dampfdruckthermometern zur Festlegung der thermodynamischen Temperaturskala in tiefen Temperaturen, jedoch noch nicht im Temperaturgebiet des flüssigen Heliums, angestellt. Sie bestätigten im wesentlichen die Leidener Messungen und ergaben als Temperatur des absoluten Nullpunkts $-273{,}16°$. MEISSNER und Mitarbeiter befaßten sich hauptsächlich mit dem Widerstand von Metallen und Legierungen bis herunter zu $1{,}2°$ abs. und mit der Supraleitung. Zahlreiche neue Supraleiter wurden gefunden, z. B. CuS, Tantal und Niobiumcarbid mit dem hohen Sprungpunkt von $10{,}1°$ abs. Ferner fand MEISSNER, teilweise zusammen mit OCHSENFELD, daß bei Eintritt der Supraleitung auch ein magnetischer Effekt auftritt: Reine Supraleiter werden kraftlinienfrei. Der gleichmäßig über den Querschnitt eines Leiters verteilte Strom wird zu einem Oberflächenstrom.

Die Arbeiten über den Widerstand von Metallen, insbesondere über den Einfluß eines Magnetfeldes, sowie über Supraleitung wurden im Charlottenburger Kältelaboratorium von SCHEFFERS, JUSTI u. a. fortgeführt. Kürzlich fand JUSTI z. B., daß Nb-Nitrid einen noch höheren Sprungpunkt als Nb-Carbid hat und schon bei etwa $15°$ abs. supraleitend wird, ja schon bei $20°$ abs. supraleitend sein kann.

Die Leidener und Charlottenburger Messungen über elektrische Leitung und Supraleitung sowie über spezifische Wärme von Metallen bestätigten oder begründeten theoretische Arbeiten, von denen die Elektronentheorie der elektrischen Leitung von SOMMERFELD, die Theorien der Supraleitung von LONDON und WELKER und die theoretischen Arbeiten von LAUES über Supraleitung genannt seien.

Die Mittel des Charlottenburger Kältelaboratoriums wurden auch anderen Instituten und Gästen in großem Umfang zur Verfügung gestellt. Sie ermöglichten z. B. Arbeiten von POHL und GUDDEN über den lichtelektrischen Effekt in tiefen Temperaturen, von BONHOEFFER und HARTECK über Ortho- und Parawasserstoff, von SIMON über spezifische Wärme, von POLANYI und SCHMID über die Plastizität von Einkristallen.

Wasserstoffverflüssiger nach dem Linde-Prinzip wurden später auch an anderen Stellen in Deutschland aufgestellt, z. B. im EUCKENschen Physikalisch-Chemischen Universitäts-Institut in Göttingen und im CLUSIUSschen Physikalisch-Chemischen Institut der Universität München nach Angaben von CLUSIUS. An beiden Stellen wurden wertvolle Arbeiten mit flüssigem Wasserstoff durchgeführt, z. B. über die thermischen Eigenschaften von Verbindungen des schweren Wasserstoffisotops.

Ein größeres Kältelaboratorium mit Einrichtung zur Heliumverflüssigung wurde ferner im Berliner Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik (Max Planck-Institut) unter DEBYE kurz vor dem jetzigen Kriege geschaffen.

Während Wasserstoff bisher nur nach dem Linde-Verfahren (bei Vorkühlung mit flüssiger Luft) verflüssigt wurde, stellt man heute kleine Mengen flüssigen Heliums an einigen Orten auch nach dem von SIMON verbesserten und abgeänderten CAILLETETschen Verfahren der einmaligen Entspannung bei Vorkühlung mit festem Wasserstoff von etwa $11°$ abs. her. Es wird dabei ein Stahlbehälter mit komprimiertem Helium von etwa $11°$ abs. gefüllt. Das Helium wird in einem Drosselventil auf 1 ata entspannt und der dabei auftretende Joule-Thomson-Effekt außer der im Stahlbehälter auftretenden Entspannungskühlung zum Teil ausgenutzt. Das im Ventil entspannte Gas wird dazu durch eine durch den Stahlbehälter führende Rohrleitung geschickt. Eine derartige Einrichtung hat z. B. SIMON in Oxford und neuerdings HILSCH in Erlangen.

Größere Mengen flüssigen Heliums kann man ohne Vorkühlung mit flüssigem Wasserstoff, nur mit Vorkühlung durch flüssige Luft, nach einem kontinuierlichen Verfahren herstellen, das zuerst von KAPITZA in Cambridge und in den letzten Jahren in abgeänderter Weise von MEISSNER in Zusammenarbeit mit der Linde-Gesellschaft in der Technischen Hochschule München durchgeführt wurde. Dabei wird die Vorkühlung mit flüssigem Wasserstoff ersetzt durch Vorkühlung mit Heliumgas, das in einer Expansionsmaschine unter Leistung äußerer Arbeit von 30 auf 1 ata entspannt und abgekühlt ist, und zwar bei MEISSNER

auf 14° abs., so daß die Verhältnisse im übrigen genau wie bei der Heliumverflüssigung nach LINDE-ONNES liegen. KAPITZA kühlte mit der Expansionsmaschine bis auf 10° abs. vor, mußte dann aber wegen des Verlaufs der Inversionskurve des Joule-Thomson-Effektes das Helium bei höherer Temperatur auf 17 ata entspannen, um bei 10° abs. durch Entspannung auf 1 ata Abkühlung durch den Joule-Thomson-Effekt zu erhalten. Dies ist unnötig kompliziert und außerdem ungünstig, da die Kälteleistung der Expansionsmaschine etwa proportional der in ihr erzielten Endtemperatur absinkt. Die eigentliche Heliumverflüssigung erfolgt aber in beiden Fällen wieder nach dem Linde-Prinzip. In Cambridge wurden wichtige Versuche mit dem nach dem Kapitza-Verfahren gewonnenen flüssigen Helium durchgeführt. Z. B. wurde dort von ALLEN und REEKIE der sog. Fontäne-Effekt des flüssigen Heliums II gefunden, bei dem dasselbe allein zufolge des früher erwähnten Kriecheffektes aus feinen Capillaren bis 30 cm in die Höhe springt.

Mit flüssigem Helium kann man nur Temperaturen bis herunter zu etwa 0,75° abs. erzielen, da bei noch tieferen Temperaturen der Dampfdruck des Heliums so klein ist, daß zum Abpumpen des Dampfes zu große Pumpen erforderlich werden. Temperaturen unter 0,75° wurden bisher nur nach dem sog. magneto-kalorischen Verfahren erreicht, dessen theoretische Grundlagen besonders durch DEBYE gegeben wurden. Bei diesem Verfahren wird ein paramagnetisches Salz bei etwa 1° abs. isotherm magnetisiert und sodann adiabatisch entmagnetisiert. Bei der Entmagnetisierung sinkt bei geeigneter Wahl des Salzes die Temperatur. Dieses Verfahren wurde besonders durch DE HAAS und Mitarbeiter in Leiden sowie durch SIMON und Mitarbeiter in Oxford durchgeführt. DE HAAS kam dabei bis unter 0,01° abs. herunter. KÜRTI und SIMON konnten, indem sie dem paramagnetischen Salz Metallpulver beimischten, drei neue Supraleiter mit extrem tiefen Sprungpunkten (Cadmium, Zircon, Hafnium) auffinden. Andere Versuche außer diesen und den rein magnetischen sind nach dem magnetokalorischen Verfahren bisher nicht angestellt worden. Da es sich wie bei dem Cailletet-Verfahren um einen einmaligen Vorgang handelt, können nach dem magnetokalorischen Verfahren andere größere Massen außer der paramagnetischen Substanz nicht mit abgekühlt werden. Daher ist das letzte Wort über die Erzeugung von Temperaturen unter 1° abs. vielleicht noch nicht gesprochen. Auf jeden Fall muß bei ihr mit flüssigem Helium vorgekühlt, also indirekt wieder die LINDEsche Gasverflüssigungsmethode benutzt werden.

Die Fülle der im vorstehenden angedeuteten Fortschritte auf physikalischem Gebiet wäre nach allem ohne das Linde-Verfahren der Gasverflüssigung nicht möglich gewesen. Nicht nur die Ingenieure, sondern auch die Physiker haben daher allen Grund, CARL VON LINDES anläßlich der 100. Wiederkehr seines Geburtstages dankbar zu gedenken!

Diffusion und adenoide Tätigkeit bei der Ionenaufnahme pflanzlicher Zellen[1]).

Von RUNAR COLLANDER, Helsingfors.

Alle lebenden Protoplasten grenzen normalerweise an ein wässeriges Medium, aus dem sie Nahrung aufnehmen und an das sie die Endprodukte ihres Stoffwechsels abgeben. In bezug auf die einzelligen Wasserorganismen leuchtet dies ja ohne weiteres ein. Aber im Grunde genommen gilt dasselbe auch für die Protoplasten der vielzelligen Lebewesen, ganz einerlei, ob es sich um Land- oder Wasserorganismen handelt. Denn die Protoplasten des Tierkörpers stehen fast immer wenigstens teilweise mit der Lymphe in Berührung, während die pflanzlichen Protoplasten von der Flüssigkeit umgeben sind, die die Zellwände durchtränkt.

Betrachten wir nun den Stoffaustausch zwischen den Protoplasten und dem sie umgebenden Medium etwas genauer, dann können wir nicht umhin, eine auffallende *Gegensätzlichkeit* festzustellen in bezug auf die Anforderungen, die in dieser Hinsicht an die Protoplasten gestellt werden. Denn einerseits müssen sie ja imstande sein, mit genügender Schnelligkeit Nahrung aufzunehmen und Abfallprodukte auszuscheiden, was eine nicht ganz unbeträchtliche Intensität des Stoffaustausches voraussetzt. Aber andererseits muß dafür gesorgt werden, daß gewisse leicht diffusible Stoffe — Zuckerarten, Aminosäuren, Salze usw. —, die im Zellinnern angehäuft und dort gebraucht werden, nicht durch Diffusion aus den Zellen heraustreten, wodurch sie den Zellen verlorengehen würden, und dies setzt nun wiederum eine möglichst effektive Isolierung der Zellen gegenüber dem Außenmedium voraus.

Es ist ein sehr interessantes zellphysiologisches Problem, wie die lebenden Zellen diesen einander entgegengesetzten Ansprüchen gerecht werden können. Hier soll uns dieses Problem nicht in seinem ganzen Umfang beschäftigen. Vielmehr beschränken wir uns allein auf die *pflanzlichen* Zellen und betrachten diesmal ihr Verhalten bloß gegenüber Salzen bzw. — da nach den neueren Anschauungen der Physikochemiker die Salze in wässeriger Lösung vollständig dissoziiert sein dürften — gegenüber *Ionen*. Die Frage, die uns dabei in erster Linie beschäftigen wird, ist die, welche Rolle einfache Diffusionsvorgänge einerseits und komplizierte Stofftransportmechanismen andererseits bei der Aufnahme und Abgabe von Salzen seitens der Pflanzenzellen spielen.

[1]) Nach einem Vortrag bei der Arbeitstagung „Allgemeine Biologie" in Berlin-Dahlem am 22. X. 1941.

Zunächst fragen wir:

Wie steht es mit der Durchlässigkeit der pflanzlichen Protoplasten für diffundierende Salze bzw. Ionen?

Die Literatur enthält zwar zahlreiche Angaben über die Durchlässigkeit oder Permeabilität der Pflanzenzellen für verschiedene Salze und Ionen, aber beinahe das einzige, was ich persönlich über diese viel diskutierten Dinge aussagen möchte, ist, daß die pflanzlichen Protoplasten im allgemeinen *äußerst wenig durchlässig* für Salze und überhaupt wohl für Ionen sind. Aber nicht einmal in bezug auf diesen grundlegenden Punkt ist bis jetzt Einigkeit erreicht worden. So z. B. lesen wir noch in einem ganz modernen Lehrbuch der Botanik (WETZEL, S. 173), daß die Mineralsalze „relativ rasch" permeieren. Ich möchte daher meinen Standpunkt an Hand einiger Beispiele etwas näher begründen.

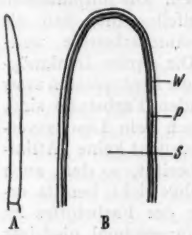


Fig. 1. Characeen-Zelle. *A* in natürlicher Größe, *B* Spitzenteil der Zelle, vergrößert, *W* = Zellwand, *P* = Protoplasmaschlauch, *S* = Zellsaft. Der Dentlichkeit halber sind Zellwand und Plasmaschlauch stärker vergrößert gezeichnet als der Zellsaftraum.

Wir gehen dabei zunächst von einer ganz einfachen Überlegung aus, indem wir an die Zellen irgend einer Süßwasseralge, etwa einer Characee, denken (vgl. COLLANDER 1939 und Fig. 1). Der Zellsaft dieser Algen enthält mehrere Ionen (K, Na, Cl usw.) in Konzentrationen, die oft um das Tausendfache höher sind als die Konzentrationen derselben Ionen in dem umgebenden Wachstumsmedium der Alge. Was würde wohl geschehen, wenn die Algenprotoplasten einigermaßen leicht durchlässig für diese im Zellsaft enthaltenen Ionen wären? Ich glaube, die Antwort auf diese Frage drängt sich jedem Unvoreingenommenen sofort auf die Lippen: die Ionen würden aus der Zelle durch Diffusion heraustreten. Tatsächlich geschieht dies aber nicht. Es sieht also jedenfalls zunächst so aus, als ob die Algenprotoplasten für die betreffenden Ionen praktisch undurchlässig wären. Ehe wir aber berechtigt sind, diesen Schluß zu ziehen, müssen wir nachsehen, ob das Nichtaustreten der Salze aus dem Zellsaft irgendwie anders erklärt werden könnte. Vor allem wäre dabei zu erwägen, ob man sich denken könnte, daß die Ionen an irgend welche Bestandteile des Zellsaftes entweder durch Adsorption oder sonstwie gebunden wären. Es liegt mir natürlich fern, verneinen zu wollen, daß dies für *einen Teil* der Ionen im Zellsaft zutreffen kann. Aber es scheint mir geradezu unmöglich, sich vorzustellen, daß diese Bindung so vollständig wäre, daß ein auch nur angenähertes Diffusionsgleichgewicht bezüglich der Ionen zwischen dem Zellsaft und dem umgebenden Medium bestände. Erstens ist nämlich der Zellsaft der Characeen eine wässerige Flüssigkeit, die nur sehr wenig Proteine oder sonstige organische Verbindungen enthält, welche als Adsorbentien der im Zellsaft reichlich vorhandenen Salze in Frage kommen könnten. Und zweitens ist die elektrische Leitfähigkeit des aus den Zellen isolierten Zellsaftes so groß, daß man unbedingt schließen muß, daß die in ihm enthaltenen Salze als freie Ionen — also nicht irgendwie adsorptiv gebunden — vorliegen müssen. Höchstens wäre zunächst noch zu erwägen, ob etwa der Zellsaft der *intakten* Zellen die Salze in labil gebundenem Zustand enthalten könnte und ob er sich somit erst beim Abzapfen aus den Zellen derart verändert, daß die Ionen dabei frei gemacht werden. Allein auch diese Annahme kommt bei näherer Betrachtung nicht ernstlich in Frage. Denn wie wäre die große osmotische Saugkraft der intakten Zellen zu erklären, wenn die im Zellsaft enthaltenen Salze nicht frei, sondern adsorptiv gebunden wären? Wenigstens im Falle der Characeen, deren Zellsaft sehr arm an organischen Verbindungen ist, muß die osmotische Saugung in erster Linie eben den Ionen zugeschrieben werden.

Wir kommen somit zu dem Schluß, daß die Ionen, wenigstens bei einigen Süßwasseralgen, größtenteils in freiem, diffusionsfähigem Zustand im Zellsaft vorhanden sein müssen. Trotzdem diffundieren sie, wie gesagt, nicht aus den Zellen heraus. Mir scheint dies ein ziemlich eindeutiger Beweis dafür zu sein, daß die betreffenden Protoplasten entweder für Kationen oder für Anionen weitgehend undurchlässig sein müssen. Durch besondere Versuche hat sich zeigen lassen, daß diese wenigstens relative Undurchlässigkeit sowohl die Kationen wie die Anionen betrifft (7).

In diesem Zusammenhang sei noch auf die Messungen von BLINKS (3) hingewiesen, aus denen hervorgeht, daß der elektrische Widerstand der Nitella-Protoplasten außerordentlich groß ist. Er beträgt nämlich — trotz der Dünne der Protoplasten! — durchschnittlich etwa 250000 Ohm/cm². Auch dies beweist ja, daß die betreffenden Protoplasten dem Durchtritt sowohl der Kationen wie der Anionen gewaltige Widerstände entgegenzusetzen vermögen.

Ein weiteres, recht anschauliches Beispiel der Undurchlässigkeit der Protoplasten für Ionen bietet ihr Verhalten gegenüber starken Basen, wie etwa Natrium- oder Kaliumhydroxyd. Es ist ja schon lange bekannt, daß, wenn man Zellen mit saurem, anthozyanhaltigem Zellsaft in eine verdünnte Ammoniaklösung bringt, die rote oder violettrote Farbe des Anthozyans in wenigen Sekunden in Blau umschlägt als Zeichen für das sehr schnelle Eindringen des Ammoniaks in den Zellsaft. Bringt man dagegen die Zellen statt in Ammoniak in die Lösung einer starken, d. h. praktisch vollständig dissoziierten Base, so ist das Ergebnis ein vollkommen anderes: die Farbe des Zellsaftes kann unter diesen Umständen sogar viele Tage lang ganz unverändert bleiben. Es ist somit klar, daß die Hydroxylionen der Außenlösung nicht in den Zell-

saft eingedrungen sind, oder wenigstens, daß die Menge der eingedrungenen OH-Ionen jedenfalls so klein ist, daß sich die ursprüngliche Reaktion des Zellsaftes nicht merklich verändert hat.

Das Verhalten der Protoplasten gegenüber starken Basen ist auch noch in einer anderen Hinsicht lehrreich. Bekanntlich hat man häufig die Möglichkeit erwogen, die *äußere* Plasmahaut könnte vielleicht wesentlich permeabler sein als die *innere*. Einige Forscher scheinen einen solchen Unterschied im Verhalten der beiden Plasmahäute sogar bereits als erwiesen anzusehen (vgl. z. B. WETZEL, S. 106). Das Verhalten der Protoplasten gegenüber starken Basen scheint mir jedoch in Widerspruch zu dieser Auffassung zu stehen. Tatsache ist nämlich, daß zahlreiche Pflanzenzellen etwa in einer hundertstelnormalen Lösung von NaOH stundenlang ganz unbeschädigt bleiben. Auch eine Aufquellung der Protoplasten, wie sie von Ammoniak häufig verursacht wird, ist in verdünnter Natronlauge nicht zu beobachten, solange die Protoplasten noch am Leben sind. Die Lauge scheint somit nicht einmal durch die äußere Plasmahaut hindurch in das Binnenplasma eindringen zu können.

Als letzte Illustration der Undurchlässigkeit der Protoplasten für Ionen wähle ich ihr Verhalten gegenüber Sulfosäurefarbstoffen. Es sind dies Salze, die in wässerigen Lösungen praktisch vollständig dissoziiert sein dürften und die aus einem farbigen Anion und einem farblosen Kation (z. B. Na oder K) bestehen. Die Anionen der Sulfosäurefarbstoffe bieten dem Experimentator den großen Vorteil, daß man ihr Schicksal, eben dank ihrer Farbe, mit dem Auge direkt verfolgen kann, wenn sie nur in genügender Konzentration vorhanden sind.

Bringt man nicht zu kleine Pflanzenzellen, die bereits seit mehreren Tagen in einer konzentrierten Lösung irgendeines Sulfosäurefarbstoffes liegen, in einem Tropfen derselben Farblösung auf einen Objektträger, legt ein Deckglas darauf und untersucht das Präparat mikroskopisch, dann sieht man häufig die lebenden Zellen sich leuchtend weiß gegen den dunkelfarbigen Grund der umgebenden Lösung abzeichnen. Von einem Eindringen des Farbstoffes auch nur entfernt bis zum Konzentrationsausgleich kann also in solchen Fällen gar keine Rede sein (4).

Noch genauer läßt sich die Aufnahme oder vielmehr die Nichtaufnahme der Sulfosäurefarbstoffe bei den Riesenzellen der Characeen verfolgen, da man in diesem Falle den Zellsaft aus Zellen, die in der Farbstofflösung gelegen haben, abzapfen und kolorimetrisch untersuchen kann. In dieser Weise ist nachgewiesen worden, daß die Farbstoffkonzentration im Zellsaft, wenn die Zellen bereits tage- oder wochenlang in der Farblösung liegen, immer noch weniger als ein Tausendstel, bisweilen sogar weniger als ein Achttausendstel der Außenkonzentration beträgt (10). Nun läßt sich ja zunächst denken, daß der Farbstoff zwar aufgenommen, aber in den Zellen in farblose und daher unsichtbare Form übergeführt worden ist. Dieser Einwand läßt sich jedoch dadurch entkräften, daß man die Zellen in einem möglichst kleinen Volumen der Farbstofflösung liegen läßt und die dabei evtl. stattfindende Abnahme der Farbstoffkonzentration der Außenlösung messend verfolgt. Würde nämlich der Farbstoff dauernd aufgenommen und in den Zellen entfärbt werden, so müßte dies ja zu einer entsprechenden Abnahme der äußeren Farbstoffkonzentration führen. Tatsächlich bleibt aber die Färbung der Außenlösung mehrere Tage lang innerhalb der Fehlergrenzen der kolorimetrischen Bestimmungsmethode konstant.

Woher kommt nun dieses Nichteindringen des Farbstoffes in die Zellen? Wenigstens zwei Möglichkeiten sind a priori gegeben. Die am nächsten liegende Erklärung ist zweifellos die, daß die Protoplasten für die Sulfosäurefarbstoffe weitgehend undurchlässig sind. Die zweite Denkmöglichkeit ist wiederum die, daß die Protoplasten zwar durchlässig für die betreffenden Farbstoffe sind, daß aber der Zellsaft praktisch kein Lösungsvermögen oder allgemeiner ausgedrückt keine „Affinität" zu diesen Farbstoffen besitzt, so daß, auch nachdem das Diffusionsgleichgewicht bereits erreicht ist, die Konzentration des Farbstoffes im Zellsaft immer noch einige tausendmal niedriger als in der mit ihm im Gleichgewicht stehenden Außenlösung ist. Während ich (4, 10) in meinen Veröffentlichungen nachzuweisen versucht habe, daß die zuerstgenannte Alternative zutrifft und die Protoplasten somit praktisch undurchlässig für die Anionen der Sulfosäurefarbstoffe sind, haben auch noch in neuester Zeit einige Forscher die zweite Alternative zu stützen versucht. Als Repräsentanten dieser zweiten Meinungsrichtung erwähne ich DRAWERT (11), der vor einigen Monaten eine ausführliche und in vielen Hinsichten verdienstvolle Untersuchung über das Verhalten der Pflanzenzellen zu Säurefarbstoffen veröffentlicht hat.

Die Auffassung DRAWERTS führt zu der eigentümlichen Konsequenz, daß in den Zellen — und somit auch im Zellsaft — fast kein „freies" Wasser vorhanden sei, d. h. fast kein Wasser, das als Lösungsmittel für die ausgesprochen wasserlöslichen Sulfosäurefarbstoffe in Frage kommt (vgl. DRAWERT S. 61). Das ist eine Annahme, der ich durchaus nicht beitreten kann, und zwar am allerwenigsten für den Fall der Characeen-Zellen, deren Zellsaft verhältnismäßig genau untersucht ist. Der aus den Chara-Zellen isolierte Zellsaft enthält nämlich kaum $^1/_2$ % an organischen Verbindungen und etwa $1^1/_2$ % an anorganischen Salzen (5). Der Rest, also rund 98 %, ist Wasser. Dieses Wasser soll nun, wenn wir die eben erwähnte Hypothese von der mangelnden Affinität des Zellsaftes zu den Sulfosäurefarbstoffen auf diesen Fall anwenden wollen, so fest gebunden sein, daß es sein Lösungsvermögen für die Farbstoffe fast vollständig eingebüßt hat. Eine solche Annahme hat a priori nicht viel Wahrscheinlichkeit für sich.

Übrigens ist es ein leichtes, sich unmittelbar davon zu überzeugen, daß wenigstens der aus den Zellen abgezapfte Zellsaft tatsächlich ein gutes Lösungsmittel für die Sulfosäurefarbstoffe darstellt. Wenn wir nun trotzdem an der eben angedeuteten Hypothese festhalten wollten, bliebe also nichts anderes übrig als anzunehmen, daß der ursprüngliche Zellsaft zwar fast kein freies Wasser enthält, daß er aber im Moment des Isolierens aus den Zellen eine plötzliche Veränderung erleidet, wodurch das bisher gebundene Wasser frei gemacht wird. Gegen eine solche an sich schon wenig wahrscheinliche Annahme spricht jedoch u. a. der Befund, daß zahlreiche hydrophile Substanzen, wie z. B. Glykol, Glyzerin und Harnstoff, sich ungefähr im Verhältnis 1:1 zwischen dem Zellsaft lebender Zellen und der die Zellen umgebenden Wasserphase verteilen (8).

Mir scheint unter diesen Umständen die Folgerung unentrinnbar, daß die betrachteten Protoplasten für die Anionen der Sulfosäurefarbstoffe tatsächlich fast undurchlässig sind.

In den bisher besprochenen Beispielen hat sich die Ionendurchlässigkeit der Pflanzenzellen, wie wir gesehen haben, als äußerst klein oder sogar als überhaupt nicht nachweisbar erwiesen. Es gibt aber andere Fälle, in denen eine deutliche Salzpermeabilität zu bestehen scheint. So z. B. haben FITTING, HÖFLER u. a. in allgemein bekannten, sehr genauen Versuchen gezeigt, daß, wenn man Pflanzenzellen in Lösungen von Kaliumchlorid oder anderen Alkalisalzen plasmolysiert, die Plasmolyse nicht unverändert bestehenbleibt, son dern langsam zurückgeht. Z. B. in Calciumsalzlösungen ist dagegen kein Rückgang der Plasmolyse zu beobachten. Aus derartigen Befunden pflegt man zu folgern, daß die betreffenden Protoplasten durchlässig für Alkalisalze, dagegen undurchlässig für Erdalkalisalze sind. Diese Schlußfolgerung liegt ja in der Tat sehr nahe, und ich wage nicht zu behaupten, daß sie unrichtig sei, aber einen leisen Zweifel an der Richtigkeit der landläufigen Deutung kann ich doch nicht ganz unterdrücken (vgl. 8). Denken wir etwas näher an einen Protoplasten, der in Calciumchloridlösung plasmolysiert ist! Das in der Außenlösung enthaltene Salz dringt nicht in den Zellsaft hinein. Aber der Zellsaft enthält ja Kaliumchlorid und andere Alkalisalze in beträchtlicher Konzentration. Wenn nun die Protoplasten tatsächlich, wie allgemein angenommen, für diese Salze durchlässig wären, dann müßten die Salze doch allmählich aus dem Zellsaft exosmieren, und die Folge hiervon müßte sein, daß der Plasmolysegrad allmählich zunehmen würde. Davon ist jedoch normalerweise kaum etwas zu bemerken. Ist es somit nicht wahrscheinlich, daß auch diese Protoplasten selbst für Alkalisalze so ziemlich undurchlässig sind, wenigstens in der Richtung von innen nach außen?

In der Tat kenne ich kaum mehr als eine Art von Pflanzenzellen, bei der man von einer ganz unzweifelhaften, großen Durchlässigkeit für Salze — und somit zugleich für Ionen — sprechen kann. Dieses Objekt ist das von RUHLAND und seinen Schülern (19) studierte Schwefelbakterium *Beggiatoa mirabilis*. Aber bekanntlich weicht gerade dieses Objekt auch sonst hinsichtlich seiner Permeabilitätseigenschaften sehr stark von den übrigen Pflanzenzellen ab. Sein Verhalten kann also nicht als für die Pflanzenzellen typisch bezeichnet werden.

Übrigens liefert *Beggiatoa* ein außerordentlich lehrreiches Beispiel von den Folgen einer so großen Salzdurchlässigkeit. In ihren Zellen herrscht nämlich ein im Vergleich mit anderen Pflanzenzellen ganz erstaunlich niedriger Turgordruck; etwa 0,003 Atm. Offenbar ist dies eine Folge davon, daß die Zellen von Beggiatoa — eben wegen der abnorm großen Durchlässigkeit ihrer Protoplasten — unfähig sind, irgend welche nennenswerte Mengen von Salzen oder von anderen gelösten Stoffen in ihren Zellen zu speichern.

Gewissermaßen eine Mittelstellung zwischen *Beggiatoa* einerseits und den gewöhnlichen Pflanzenzellen andererseits scheinen die Diatomeen einzunehmen. Wie HÖFLER (13) neulich festgestellt hat, geht nämlich ihre Plasmolyse in hypertonischen Salzlösungen auffallend schnell zurück[1]) — allerdings nicht ganz so schnell wie bei *Beggiatoa*.

Nur im Vorbeigehen sei schließlich darauf hingewiesen, daß viele tierische Zellen entweder nur für Kationen oder nur für Anionen durchlässig sind. Auffallenderweise ist ein solcher Permeabilitätstypus bis jetzt gar nicht aus dem Pflanzenreich bekannt.

Die adenoide Salzaufnahme.

Bis jetzt haben wir allein die Durchlässigkeit der Protoplasten für diffundierende Ionen besprochen. Wir haben dabei gefunden, daß die freie Diffusion der Ionen durch den Plasmaschlauch hindurch wenigstens in vielen Fällen fast ganz verhindert wird. Damit ist aber die Frage von der Ionenaufnahme und -abgabe der Pflanzenzellen bei weitem nicht erschöpfend behandelt. Wir dürfen nämlich nicht vergessen, daß — wie OVERTON bereits in den neunziger Jahren mit Nachdruck betont hat — der Stoffaustausch zwischen den lebenden Protoplasten und ihrer Umgebung zwei fundamental verschiedenartige Prozesse umfaßt. Bisher haben wir aber hier allein die eine Kategorie dieser Vorgänge ins Auge gefaßt.

---

[1]) In diesem Zusammenhang taucht die Frage auf, welche Stoffe wohl bei den Diatomeen den ziemlich beträchtlichen osmotischen Wert des Zellsaftes bedingen. Salze und Zucker kommen kaum in Frage, da die Protoplasten für sie allzu durchlässig sind. Aus demselben Grunde scheiden alle Stoffe mit kleinen oder mäßig großen Molekülen aus. Aber gar zu großmolekular dürfen die betreffenden Stoffe andererseits auch nicht sein, denn der osmotische Wert ist ja der *Anzahl* der Moleküle in der Volumeinheit proportional. Es ist somit wirklich nicht leicht, sich einen Stoff auszudenken, der für diesen Zweck geeignet wäre!

Welches sind denn die zwei Arten des zellularen Stoffaustausches?

Nun, im einen Fall handelt es sich wie in den bisher betrachteten Beispielen um einfache Diffusionsvorgänge. Stoffe, deren Konzentration im Zellsaft größer als im umgebenden Medium ist, sind bestrebt, aus den Zellen heraus zu diffundieren, während umgekehrt Substanzen, deren Konzentration im Außenmedium höher als im Zellsaft ist, durch Diffusion in die Zellen einzudringen streben. Diese Diffusionsprozesse werden je nach der Art der diffundierenden Substanz mehr oder weniger effektiv von den Protoplasten gehemmt, und gerade diese selektive Bremsung freiwillig verlaufender Diffusionsvorgänge ist es, die den Gegenstand der eigentlichen Permeabilitätsforschung bildet.

Es kann aber den Protoplasten durchaus nicht genügen, daß sie imstande sind, den freiwillig stattfindenden Diffusionsaustausch einzuschränken oder gar zu unterdrücken. In vielen Fällen müssen sie nämlich auch über Mittel verfügen, um gelöste Stoffe nach einer Richtung hin zu befördern, die derjenigen entgegengesetzt ist, in der sie von selbst zu diffundieren bestrebt sind. Diesen unter Arbeitsaufwand stattfindenden aktiven Stofftransport hat OVERTON mit dem Namen *adenoide* (d. h. drüsenartige) Tätigkeit der Protoplasten belegt.

Ein einfaches Bild ist vielleicht geeignet, das Verhältnis zwischen der Permeation (d. h. der spontanen Diffusion) und dem adenoiden Stofftransport zu veranschaulichen. Wir denken uns ein Gefängnis, das von einer Mauer umgeben ist. Die Mauer hat den Zweck, das Entfliehen der Gefangenen nach Möglichkeit zu verhindern. Sie darf aber nicht den Verkehr zwischen dem Gefängnis und der Umwelt gänzlich unterbinden. Daher ist sie mit einem Tor versehen, durch das neue Sträflinge in das Gefängnis eingeführt und solche, deren Strafzeit abgelaufen ist, entlassen werden können. Dieser von den Behörden veranlaßte Verkehr durch das Tor ist aber selbstverständlich ein Vorgang ganz anderer Art als die trotz aller Vorsichtsmaßnahmen bisweilen vorkommende Flucht von einzelnen Gefangenen. Dieser Vorgang entspricht der spontanen Permeation der Ionen, jener dem adenoiden Ionentransport.

Die Lehre von der adenoiden Tätigkeit bildet, wie leicht einzusehen, eine wesentliche und geradezu unentbehrliche Ergänzung nicht nur der OVERTONschen Lipoidtheorie, sondern überhaupt jeder Theorie der Protoplasmadurchlässigkeit. Trotzdem sind die adenoiden Leistungen der Pflanzenzellen bis vor kurzem recht wenig beachtet worden. Erst in den letzten Jahren hat man sie zum Gegenstand ganz zielbewußter, eingehender Untersuchungen gemacht. Ob man für sie die von OVERTON vorgeschlagene Benennung „adenoide Tätigkeit" benutzen will oder lieber etwa von einer „aktiven" Ionenaufnahme spricht, ist ja zum Teil Geschmackssache. Mir scheint allerdings, daß der Gesichtspunkt der historischen Pietät zugunsten der von OVERTON vorgeschlagenen Benennung spricht.

Es fragt sich, wie man im Einzelfall zwischen einfachen Permeationsvorgängen und dem adenoiden Stofftransport unterscheiden kann. Das prinzipiell entscheidende Merkmal liegt ja, wie bereits betont, darin, daß der Protoplast sich im ersteren Falle wie ein passiver Diffusionswiderstand verhält, während es sich im zweiten Fall um eine aktive Arbeitsleistung des Protoplasten handelt. Hiermit hängt es zusammen, daß ein durch einfache Diffusion in den Zellsaft eingedrungener Stoff im allgemeinen ebenso leicht wieder aus der Zelle exosmiert, falls das Konzentrationsgefälle des betreffenden Stoffes umgekehrt wird, daß sich dagegen die Richtung des adenoiden Stofftransportes bei weitem nicht so leicht durch äußere Maßnahmen umkehren läßt. OVERTON hat aber auch ein paar weitere Kriterien angegeben, die die Unterscheidung manchmal erleichtern können. Er bemerkt nämlich, daß die adenoide Tätigkeit durch Sauerstoffentzug und ebenso durch Narkotisierung aufgehoben werden kann, was dagegen nicht oder kaum bei einfachen Permeationsprozessen der Fall ist.

Ein besonders auffälliges Beispiel eines adenoiden Ionentransports bietet die Salzaufnahme der submersen Wasserpflanzen (6). Eine Konzentrierung des Zellsaftes durch Verdunstung des Lösungswassers kommt ja bei diesen Pflanzen — eben infolge ihrer submersen Lebensweise — gar nicht in Frage. Trotzdem ist die Salzkonzentration in ihrem Zellsaft oft etwa um das 1000fache höher als in dem umgebenden Medium, aus dem die Pflanzen ihre Nahrung geschöpft haben. Es ist also kaum zu bezweifeln, daß bei diesen Pflanzen ein Transport von Ionen entgegen dem Konzentrationsgefälle stattfindet.

Genauer untersucht ist die Salzaufnahme der Wurzeln unter anderen durch HOAGLAND (12) sowie die Ionenaufnahme pflanzlicher Speichergewebe durch STEWARD (21, 22). Diese Untersuchungen beleuchten vor allem die nahen Beziehungen zwischen Salzaufnahme und Atmung: nur lebhaft atmende Zellen sind zu einer kräftigen Salzaufnahme befähigt. Wenn wir bedenken, daß die Salzspeicherung eine Arbeitsleistung darstellt, ist ihre Abhängigkeit von dem Betriebsstoffwechsel der Zellen in der Tat gut begreiflich. Aber auch zu dem Baustoffwechsel zeigt die adenoide Salzaufnahme deutliche Beziehungen. Nach STEWARD sind es nämlich in erster Linie noch wachstumsfähige, eiweiß-synthetisierende Zellen, die zu einer aktiven Salzaufnahme befähigt sind. Man wird gespannt sein zu sehen, ob zwischen der adenoiden Salzaufnahme und der Eiweiß-Synthsee nicht nur ein zeitlicher Parallelismus, sondern dazu noch eine direkte kausale Abhängigkeit sich finden lassen wird.

Auch die bei einigen Pflanzenzellen feststellbare Aufnahme von gewissen Sulfosäurefarbstoffen scheint adenoider Natur zu sein (9, 11). Dafür

sprechen nicht nur die Befunde, daß die Farbstoffkonzentration im Zellsaft oft diejenige der Außenlösung bedeutend übertrifft und daß der einmal aufgenommene Farbstoff nicht wieder aus den Zellen herausdiffundiert, wenn dieselben in eine farbstofffreie Lösung gebracht werden. Noch bezeichnender für die Art der Aufnahme ist es, daß die Aufnahme eben dieser Substanzen — im allgemeinen aber nicht diejenigen der basischen Farbstoffe — durch Sauerstoffentzug und ebenso durch Narkotika verhindert wird. Natürlich ist keines von diesen Kriterien an sich absolut beweisend für den adenoiden Charakter des in Rede stehenden Vorgangs, aber es will mir doch scheinen, als spreche die Gesamtheit dieser Beobachtungen sehr bestimmt zugunsten der Annahme, daß es sich hier um einen adenoiden Prozeß im Sinne OVERTONS handelt. Zu dieser Auffassung paßt es auch gut, daß die meisten Sulfosäurefarbstoffe nur von ganz bestimmten Zellsorten — z. B. von jugendlichen, noch nicht ganz ausgewachsenen Zellen sowie von Zellen der Leitbündelscheide — gespeichert werden.

Nur beiläufig sei schließlich darauf hingewiesen, daß die aktive Aufnahme auch eines amphotheren Elektrolyten, nämlich des Asparagins, festgestellt worden ist (2), sowie darauf, daß der adenoide Salztransport offenbar auch im Tierreich eine ganz fundamentale Rolle spielt (KEYS, KROGH, SCHMIDT-NIELSEN).

Über den *Mechanismus* der adenoiden Ionenaufnahme ist bisher außerordentlich wenig mit Sicherheit bekannt. Ihre Abhängigkeit von der Atmung, ihre Empfindlichkeit für Narkotika sowie der Parallelismus zwischen Salzaufnahme und Eiweißsynthese können zwar als Fingerzeige bezüglich der wahrscheinlichen Art dieses Mechanismus gelten. Sehr nahe liegt es natürlich auch, eine Beteiligung von elektrischen Kräften bei der aktiven Ionenaufnahme anzunehmen. Doch will es mir scheinen, als ob die bisher vorgeschlagenen Erklärungen der adenoiden Salzaufnahme (1, 17) kaum mehr als den Wert von Arbeitshypothesen hätten. Die Entscheidung der Frage nach dem Mechanismus der adenoiden Ionenaufnahme muß somit wohl der Zukunft vorbehalten bleiben.

Übrigens ist es kaum verwunderlich, daß unsere Kenntnisse auf diesem Gebiet noch so viel dürftiger sind als unser Wissen von der passiven Durchlässigkeit der Protoplasten. Wenn wir von der Permeabilität der Protoplasten sprechen, bewegen wir uns nämlich noch auf dem Gebiet der Biophysik eher als auf dem der eigentlichen Physiologie. Wenn wir uns aber der Erforschung der adenoiden Tätigkeit zuwenden, dann haben wir es bereits mit typisch „vitalen" Vorgängen zu tun. Und es ist ja eine alte Erfahrung: je mehr wir uns dem Zentrum des Lebens nähern, um so größer werden die Schwierigkeiten, die die Forschung zu überwinden hat.

Zusammenfassung.

Die Aufnahme und Abgabe von Salzen seitens lebender Pflanzenzellen wird sehr weitgehend durch den adenoiden Salztransport beherrscht. Damit dies aber möglich wird, muß die spontane, einfach im Sinne des Konzentrationsgefälles stattfindende Diffusion von Salzen bzw. Ionen durch die Protoplasten hindurch soweit als möglich unterdrückt werden. Die Erfahrung lehrt, scheint es mir, daß die Protoplasten in der Tat weitgehend undurchlässig für diffundierende Ionen sind. Wie die adenoide Aufnahme und Abgabe von Ionen eigentlich geschieht, davon wissen wir aber heute noch herzlich wenig.

Zitierte Literatur.

1. G. ÅLVIK, Bergens Museums Arbok 1941, Naturvit.rekke Nr 7. — 2. W. H. ARISZ u. P. J. S. VAN DIJK, Proc. Kon. Nederl. Akad. van Wetensch. **42**, 820 (1939). — 3. L. R. BLINKS, J. Gen. Physiol. **13**, 495 (1930). — 4. R. COLLANDER, Jb. wiss. Bot. **60**, 354 (1921). — 5. R. COLLANDER, Acta Bot. Fenn. **6**, 1 (1930). — 6. R. COLLANDER, Protoplasma **25**, 201 (1936). — 7. R. COLLANDER, Protoplasma **33**, 215 (1939). — R. COLLANDER u. H. BÄRLUND, Acta Bot. Fenn. **11**, 1 (1933). — 9. R. COLLANDER u. A. HOLMSTRÖM, Acta Soc. Fauna et Flora Fenn. **60**, 129 (1937). — 10. R. COLLANDER u. E. VIRTANEN, Protoplasma **31**, 499 (1938). — 11. H. DRAWERT, Flora N. F. **35**, 21 (1941). — 12. D. R. HOAGLAND u. T. C. BROYER, Plant Physiol. **11**, 471 (1936). — 13. K. HÖFLER, Ber. Bot. Ges. **58**, 47 (1940). — 14. A. KEYS, Trans. Faraday Soc. **33**, 972 (1937). — 15. A. KROGH, Trans. Faraday Soc. **33**, 912 (1937). — 16. A. KROGH, Z. vergl. Physiol. **25**, 335 (1938). — 17. H. LUNDEGÅRDH, Ann. Agricult. Coll. of Sweden **8**, 233 (1940). — 18. E. OVERTON, Vjschr. naturforsch. Ges. Zürich **44**, 88 (1899). — 19. W. RUHLAND u. C. HOFFMANN, Planta (Berl.) **1**, 1 (1925). — 20. K. SCHMIDT-NIELSEN, Kgl. Danske Vidensk. Selsk., Biol. Meddel. **16**, 6 (1941). — 21. F. C. STEWARD, Trans. Faraday Soc. **33**, 1006 (1937). — 22. F. C. STEWARD u. C. PRESTON, Plant Physiol. **16**, 481 (1941). — 23. K. WETZEL, Grundriß der allgemeinen Botanik. Berlin 1940.

Über die toxische Dosis bei Einatmung von Ra-Emanation.[1])

Von B. RAJEWSKY, A. SCHRAUB und E. SCHRAUB, Frankfurt a. M.

Das Problem des Schneeberger und St. Joachimsthaler Lungenkrebses bei den Bergarbeitern, die Fragen des Arbeitsschutzes in den radiumverarbeitenden Industriebetrieben und Laboratorien einerseits, das Dosierungsproblem der balneologisch-therapeutischen Anwendung der Em.-Bäder, Em.-Inhalationen und Em.-Trinkkuren in Radiumbadeorten sowie in der klinischen Radiumschwachtherapie andererseits, erfordern die Klärung der Wirkungsweise der Ra-Emanation (Ra-Em) bei deren Einführung in den Organismus. Die Em.-Einatmung steht dabei im Vordergrund. Da die in dieser Richtung im einschlägigen Schrifttum bis dahin vorhandenen Angaben völlig unzureichend waren, haben wir seit einigen Jahren systematische Unter-

[1]) Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Biophysik in Frankfurt a. M. Eingegangen den 4. Mai 1942.

suchungen zu diesem Problemkreis aufgenommen. Sie betreffen die in radioaktiven Bergwerken (Schneeberg, St. Joachimsthal) vorliegenden Verhältnisse (1), einige inzwischen bekanntgewordene Fälle der Ra-Vergiftungen (2) sowie prinzipielle Fragestellungen im Laboratoriumexperiment (3). Im Rahmen dieser Arbeiten wurde von uns die toxische Wirkung der eingeatmeten Ra-Em. in Versuchen an weißen Mäusen verfolgt, während A. KREBS (4) in einer besonderen Untersuchung die entsprechende Wirkung von Th-Em. geprüft hat. Inzwischen ist eine Mitteilung von J. READ und J. C. MOTTRAM (5) (1939) erschienen, in der über analoge Versuche bezüglich der Wirksamkeit der eingeatmeten Ra-Em. berichtet wird. Auf Grund ihrer Versuche ermitteln die genannten Autoren eine bestimmte „Toleranzkonzentration der Ra-Em. in der Atmosphäre", d. h. bei der Em.-Einatmung. Da diese Arbeit von READ und MOTTRAM die erste Veröffentlichung ist, in der versucht wird, die Frage nach der Em.-Toleranzdosis auf experimenteller Grundlage zu beantworten und sie seitdem bei den einschlägigen Betrachtungen verschiedentlich herangezogen wurde, erscheint es erwünscht, die von READ und MOTTRAM mitgeteilten Befunde mit den von uns erzielten Resultaten zu vergleichen, was wir erst jetzt, nachdem von uns größeres Beobachtungsmaterial gesammelt wurde, für möglich und aufschlußreich halten.

READ und MOTTRAM schließen auf Grund ihrer Versuche an weißen Mäusen auf eine Toleranzkonzentration der Ra-Em. von etwa 10^{-11} Curie/cm³ oder 27 ME. bei Dauerinhalation für Menschen. Dieser Wert scheint auf Grund unserer heutigen Erfahrungen an sich von der richtigen Größenordnung zu sein: unsere Untersuchungen in Schneeberg und St. Joachimsthal zeigten, daß die fragliche Grenzkonzentration mit großer Wahrscheinlichkeit zwischen 3 und 30 ME. liegt [RAJEWSKY 1939 (1)]. Es ist jedoch wichtig, zu überprüfen, inwieweit die Ergebnisse der Versuche von READ und MOTTRAM als ein sicherer Beleg dafür betrachtet werden können. Die Autoren fanden (Versuch I), daß $1 \cdot 10^{-9}$ Curie/cm³ (2750 ME) Em. bei täglicher Dauerinhalation (außer Sonnabend und Sonntag) nach 26 Tagen Inhalation tödliche Wirkung ausüben (von 6 Versuchstieren starben 2 nach 23 und 65 Tagen), 4 Tiere wurden moribund getötet nach 23, 23, 55 und 56 Tagen[1]). $5 \cdot 10^{-10}$ Curie/cm³ (Versuch IV), verabreicht 43 Tage lang (außer Sonnabend und Sonntag), verursachten den Tod bei 1 von 3 Versuchstieren, und zwar nach etwa 35 Tagen, das zweite Tier wurde nach etwa 31 Tagen moribund getötet, während das dritte 70 Tage überlebte und dann getötet wurde[2]). $1 \cdot 10^{-10}$ Curie/cm³ (Versuch II) führten schließlich auch nach 161 Tagen Inhalation zu keinem erkennbaren Schädigungseffekt (4 Tiere). Mit einem Sicherheitsfaktor = 10 leiten READ und MOTTRAM daraus die oben angegebene Toleranzkonzentration ab. Eine Wiederholung des Versuches I ergab (Versuch III, 3 Tiere) tödliche Wirkung bei einem Tier nach etwa 24 Tagen, ein Tier wurde moribund nach etwa 36 Tagen getötet, das 3. Tier wurde nach etwa 77 Tagen getötet[2]. Zu den Versuchen von READ und MOTTRAM ist von vornherein ganz grundsätzlich zu sagen, daß die Tierzahl in den einzelnen Versuchsserien viel zu klein ist. Den Ergebnissen kann daher keine so große Eindeutigkeit zugeschrieben werden, wie es die Autoren tun. Insbesondere sind die Ergebnisse der Versuche III und IV unsicher, da die wahre Lebensdauer der getöteten Tiere unbekannt blieb.

Den Befunden von READ und MOTTRAM gegenüber stehen die schon publizierten Ergebnisse der Versuche mit Th-Em. von A. KREBS (1940) (4). Danach bewirkt die Dauereinatmung von $2{,}55 \cdot 10^{-8}$ Curie/cm³ = 70000 ME. den Tod der Versuchstiere nach 55 Tagen, während $1{,}7 \cdot 10^{6}$ ME. innerhalb 5 Tagen tödlich wirken. Die Wirksamkeit von Th-Em. wäre demnach etwa 25mal kleiner als die der Ra-Em. nach READ und MOTTRAM. Doch hielt KREBS es für angezeigt, die Ergebnisse eingehender Untersuchungen mit Ra-Em. abzuwarten, bevor man aus dem obigen Resultat Schlußfolgerungen hinsichtlich des Wirkungsmechanismus zieht.

In einer kürzlich erschienenen Mitteilung von JAKSON (1941) (6) wird berichtet, daß Dauereinatmung von $2 \cdot 10^{-9}$ Curie/cm³ = 5500 ME. während 70 Tagen ohne Wirkung war. In dieser Zeit bei 2mal kleineren Konzentrationen waren 8 von 9 Versuchstieren der beiden Versuchsserien I und III bei READ und MOTTRAM tot bzw. moribund. Allerdings halten READ und MOTTRAM die von ihnen gemessenen Konzentrationswerte bis zu einem Faktor 2 für unsicher.

Bei unseren eigenen Untersuchungen haben wir zunächst in ausgedehnten Vorversuchen alle Nebenfaktoren ausgemerzt, deren Einfluß die zu klärende Wirkung der Ra-Em. hätte überdecken oder vortäuschen können. Es zeigte sich, daß eine von diesem Standpunkt aus befriedigende Durchführung der Versuche keine einfache experimentelle Aufgabe ist. Wir werden über die entsprechenden Versuchsanordnungen und Methodik an einer anderen Stelle berichten. Hier sei lediglich erwähnt, daß die Nichteinhaltung sorgfältigster Maßnahmen zur Kontrolle aller Faktoren des Käfigklimas (O_2, CO_2, Temperatur, Feuchtigkeit, Zersetzungsprodukte usw.) zum Mißlingen der Versuche führt. Nur Versuchsbedingungen, bei welchen die absolute Sicherheit dafür besteht, daß lediglich die der Einatmungsluft zugesetzte Ra-Em. das wirksame Agens bildet, können eindeutige Ergebnisse liefern. Die von uns aufgebauten Versuchsanordnungen entsprechen vollauf dieser Forderung. Aus unseren Versuchsserien greifen wir drei als eine Gegenüberstellung zu den Versuchen von READ und MOTTRAM heraus. Die Beobachtung der Versuchstiere umfaßte dabei tägliche Untersuchung des Blutbildes, die sich in einem bestimmten Rhythmus auf alle Kontroll- und Versuchstiere erstreckt, 2mal in der Woche Gewichtsaufnahme, Kontrolle des Grundumsatzes und histologische Untersuchung post mortem. Ausführlich wird über die dabei gemachten Feststellungen später berichtet werden. Hier seien nur Endresultate in Stichworten angegeben.

Versuchsserie B_2: $1{,}35 \cdot 10^{-9}$ Curie/cm³ = 3720 ME. mittlerer Em.-Gehalt der Luft. Tierzahl 12. Dauerinhalation, jedoch täglich $2^1/_2$ Stunden Pause zwecks Säuberung der Käfige, Fütterung und Untersuchung der Tiere. 210 Tage ohne in vivo erkennbare Schädigung. Lediglich eine geringe, jedoch offenbar systematische Gewichtsabnahme deutet auf eine Schädigung hin. Doch sind hierzu die Ergebnisse weiterer Versuche abzuwarten.

Versuchsserie C_2: $2{,}03 \cdot 10^{-8}$ Curie/cm³ = 55700ME. mittlerer Em.-Gehalt der Luft. Tierzahl 12. In-

[1]) In der Mitteilung von READ und MOTTRAM sind, im Text nur 5 Zahlen, und zwar statt 55 und 56 Tage 30 Tage angegeben. Doch liegt hier offenbar ein Fehler vor: Aus den entsprechenden Kurven (Fig. 1 von READ und MOTTRAM) folgen die oben angegebenen 6 Werte.

[2]) Mangels Angaben im Text ist die Anzahl der Tage ebenfalls aus den entsprechenden Fig. 4 bzw. 3 von READ und MOTTRAM entnommen.

halation wie oben. Alle Tiere tot nach 23—71 Tagen. Ausgeprägte Veränderungen des Blutbildes, pathologische Sektionsbefunde.

Versuchsserie A_3: Kontrolle; die gleiche Lebenshaltung der Versuchstiere wie bei den Serien B_3 und C_3, jedoch ohne Em. Tierzahl 12 (9). 210 Tage unveränderter Normalzustand der Tiere.

Als Vergleich zu den von READ und MOTTRAM allein angegebenen Gewichtskurven der Tiere sind in Fig. 1 die mittleren Gewichte unserer Versuchstiere der angeführten Serien gezeigt. Wie daraus zu ersehen ist, ergab sich bei der Serie B zunächst ein fast konstanter Gewichtsstatus, der parallel dem der Kontrolltiere (Serie A) verlief, nach etwa 90 Tagen jedoch ein wenn auch langsames, so doch systematisches Absinken aufwies. Bei der Serie C dagegen zeigte sich ein steiles Absinken der Gewichtskurve. Zum Vergleich sind in Fig. 1 auch zwei charakteristische Kurven I und II nach READ und MOTTRAM eingezeichnet.

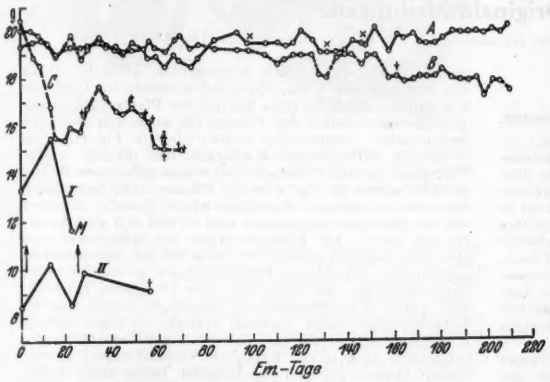


Fig. 1. Kurven *A*, *B* und *C* zeigen mittlere Gewichtskurven für 3 eigene Versuchsserien (je 12 Tiere): *A*: Kontrolle, *B*: Dauereinatmung von 3720 ME Em, *C*: Dauereinatmung von 55700 ME Em. — Kurven I und II sind der Arbeit von READ u. MOTTRAM entnommen: 26 Tage Einatmung von 2750 ME Em (in Figur mit Pfeilen angedeutet) je 1 Tier.

Auf den Kurven B und C sind die Sterbetage der Versuchstiere eingetragen (†). Bei der Kontrollserie A wurden drei interkurrent erkrankte Tiere aus dem Versuch entfernt. Die entsprechenden Tage sind auf der Kurve A mit × eingezeichnet. Wie die laufende Beobachtung der Tiere in vivo und histologische Untersuchung post mortem zeigte, handelt es sich dabei um nicht emanationsbedingte Erkrankungen, und zwar: 1 Fall Halsabszeß, 1 Fall Gangrän eines Hinterbeines und 1 Fall mit cerebraler Störung. Der eingetragene Sterbefall bei der Serie B war ebenfalls nicht emanationsbedingt (akute Enteritis). Wir stellen mit Absicht diese Versuchsserie A den Versuchen von READ und MOTTRAM gegenüber, um anschaulich zu demonstrieren, wie leicht auch unter sorgfältigster Einhaltung einwandfreier Versuchsbedingungen bei einer zu kleinen Tierzahl (z. B. 3-Tierserien von READ und MOTTRAM) Zufallsresultate durch interkurrente Erkrankungen erzielt werden können.

Das anfängliche Steigen der Gewichtskurven nach READ und MOTTRAM erklärt sich durch den Umstand, daß sie (junge) Tiere vom durchschnittlichen Gewicht von 10—12 g verwendet haben, während wir ausgewachsene Tiere von 19—20 g Durchschnittsgewicht für unsere Versuche wählten.

Aus den oben als Beispiel angeführten wie auch aus den übrigen Ergebnissen unserer Versuche folgt, daß in unserem Fall die Em.-Konzentration von 55700 ME. etwa gleich wirksam war wie die Konzentration von 2750 ME. bei READ und MOTTRAM, wobei die von uns beobachtete Wirkung *jedenfalls nicht stärker* war als bei den Versuchen von READ und MOTTRAM. Vor allem ist in dieser Hinsicht zu berücksichtigen, daß READ und MOTTRAM (Versuch I) die Einatmung der Em. nur 26 Tage (ausgenommen Sonnabend und Sonntag) erfolgen ließen, während es sich bei uns um eine Dauerinhalation handelt. Es ergibt sich also ein Verhältnis der jeweils festgestellten Wirksamkeit mindestens von etwa 1 : 20. Auch wenn man die von READ und MOTTRAM zugegebene Unsicherheit ihrer Konzentrationsmessungen (Faktor 2) in für sie günstigem Sinne berücksichtigt, kann sich das Verhältnis bestenfalls auf 1 : 10 verbessern. Es verbleibt somit in jedem Falle ein Unterschied von einer Zehnerpotenz. Die Ergebnisse unserer Versuchsserie B mit dem Versuch II von READ und MOTTRAM verglichen, lassen auf zumindest dieselbe Größenordnung des oben angegebenen Wirksamkeitsverhältnisses schließen. Die von JAKSON erzielten Resulate stehen mit unseren in Übereinstimmung. Allerdings ist die Dauer der Beobachtungen JAKSONS (70 Tage) als zu kurz anzusehen. Da auch die Ergebnisse unserer anderen Versuchsreihen gleichlautend sind, muß die Beweiskraft der Befunde von READ und MOTTRAM in Frage gestellt werden.

Sucht man nach den Ursachen, die den Ausfall der Versuche von READ und MOTTRAM bedingt haben, so ergeben sich folgende Möglichkeiten: 1. Das kleine Anfangsgewicht (geringes Alter) der Versuchstiere, 2. die Unsicherheit der Bestimmung der Em.-Konzentration (Unterschätzung um etwa eine Größenordnung), 3. das Einwirken zusätzlicher schädlicher Faktoren der Lebenshaltung der Versuchstiere (des „Käfigklimas"), 4. Zufälligkeit der Beobachtung (zu kleine Anzahl der Tiere in den einzelnen Versuchsserien). Die unter 1. angeführte Erklärung wäre von prinzipieller Bedeutung. Sie ist an sich plausibel; wir haben deshalb Versuche zu ihrer Nachprüfung unternommen. Hinsichtlich der Erklärungsmöglichkeiten zu 2. und 3. lassen die spärlichen diesbezüglichen Angaben von READ und MOTTRAM leider keine eindeutige Entscheidung zu. Wir neigen zu der Vermutung, daß alle diese Faktoren bei den Versuchen von READ und MOTTRAM mitgespielt haben. An dem Zutreffen der letztgenannten Möglichkeit 4. ist wohl kaum zu zweifeln.

Aus der vorstehenden Betrachtung ist jedenfalls zu folgern, daß die von READ und MOTTRAM aufgestellte Toleranzgrenze der Konzentration von Ra-Em. in der Atmosphäre nicht als durch die von diesen Autoren mitgeteilten Versuchsergebnisse gesichert betrachtet werden kann. An die bei uns bereits vorliegenden Ergebnisse der geschilderten Untersuchungen lassen sich interessante Betrachtungen hinsichtlich der prinzipiellen Seite des Wirkungsmechanismus der in den Organismus eingeführten α-Strahler anknüpfen. Doch behalten wir uns diese Betrachtungen bis zu einem späteren Zeitpunkt, wenn einige weitere laufende Versuche abgeschlossen sind, vor.

Die toxische Em.-Konzentration in der Luft für ausgewachsene weiße Mäuse liegt nach den dargestellten

Versuchsergebnissen unterhalb 3000 ME. Wesentlich ist die Feststellung, daß die Wirksamkeit der gleichen Konzentrationen von Th-Em. (KREBS, Versuchsserie mit $2{,}5 \cdot 10^{-8}$ Curie/cm³) und Ra-Em. (wir, Versuchsserie mit $2{,}0 \cdot 10^{-8}$ Curie/cm³) innerhalb der Schwankungsbreite der Beobachtungen die gleiche ist. Damit wird der von KREBS erhobene Befund, daß entgegen der von STOKLASA vertretenen Ansicht die Th-Em. keine größere „Giftigkeit" besitzt als die Ra-Em., dahingehend erhärtet, daß die Wirksamkeiten der beiden Emanationen gleich sind; eine Feststellung, die durchaus im Sinne der heutigen biophysikalischen Vorstellungen liegt. Es ist also nicht notwendig, wie es zunächst nach den gegensätzlichen Ergebnissen von READ und MOTTRAM und KREBS zu sein schien, nach besonderen Erklärungshypothesen zu greifen.

Literatur.

1. RAJEWSKY, Z. Krebsforsch. **49**, 315 (1939). — 2. RAJEWSKY, Strahlenther. **56**, 703 (1936). — JANITZKY, KREBS u. RAJEWSKY, Strahlenther. **61**, 254 (1938). — INOUYE u. KREBS, Strahlenther. **61** (1938). — RAJEWSKY, Strahlenther. **69**, 438 (1941). — 3. JANITZKY, Balneologe **2**, 117 (1935). — RAJEWSKY u. INOUYE, Naturwiss. **25**, 1065 (1937). — INOUYE, Strahlenther. **64**, 176 (1939). — VOLLMAR u. INOUYE, Arch. exper. Zellforsch. **23**, 27 (1939). — RAJEWSKY, Strahlenther. **64**, 158 (1939). — JANITZKY, KREBS u. RAJEWSKY, Dtsch. med. Wschr. **20** (1938). — KREBS, Fundam. radiol. **5**, 89 (1939). — 4. KREBS, Naturwiss. **49**, 166 (1940). — 5. READ u. MOTTRAM, Brit. J. Radiol. **12**, 54 (1939). — 6. JAKSON, J. appl. Physics **12**, 348 (1941). — 7. STOKLASA u. PÉNKAVA, Biologie des Radiums **1932**, 142.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über die Natur der Enthemmungen von plasmongehemmten *Epilobium hirsutum* ♀ × *parviflorum* ♂-Bastarden.

Beim Zusammentreffen von Genkombinationen mit gewissen fremden Plasmonen gibt es, wie dies bei den *Epilobium*-bastarden oft der Fall ist, *entwicklungsphysiologische Disharmonien*, die sich in heterotischem wie Hemmungswuchs äußern können[1]). Ein charakteristisches Kennzeichen der so entstandenen morphologischen Hemmungsmerkmale ist ihre *Labilität:* die Störungen sind an bestimmte Umweltbedingungen gebunden und manifestieren sich entsprechend deren Gegenwart oder Fehlen. So schafft bei *Epilobium hirsutum*-Sippenbastarden der Kurztag und die Anhäufung von Assimilaten in der Pflanze einen bestimmten physiologischen Zustand, der ein *zeitweiliges* Verschwinden der Hemmungen hervorruft[2, 3]).

Ein Sonderfall schien nach den Beobachtungen BRÜCHERS bei *Epilobium hirsutum* ♀ × *parviflorum* ♂-Bastarden gegeben zu sein[4]). Die Enthemmungen traten bei diesen Bastarden spontan und ohne erkennbaren Zusammenhang mit Umweltfaktoren auf. Sie blieben in der nächsten Generation *konstant*, waren also im Gegensatz zu den erwähnten Enthemmungen an den *hirsutum*-Sippenbastarden von *genetischer* Natur. Herr Dr. BRÜCHER überließ mir freundlicherweise Material für die physiologische Bearbeitung dieses Falles. Die Untersuchungen hatten bisher folgende Ergebnisse: Es treten an den stark gehemmten und nur wenige Zentimeter hohen Artbastarden zweierlei Typen von Enthemmungen auf. Zunächst entstehen im Laufe der Vegetationsperiode bis etwa Juli aus den Blattachselknospen an beliebigen Stellen der Pflanze die auch von BRÜCHER beobachteten „enthemmten Seitentriebe" (s. Fig. 1). Nach ± kurzem enthemmtem Wachstum, das oft nur wenige Blattpaare andauert, können aber wieder gehemmte Blätter gebildet werden (s. Fig. 1, rechte Pflanze). Der Seitensproß bekommt im weiteren Wachstum wieder dasselbe Aussehen wie der gehemmte Hauptsproß und verhält sich auch fernerhin wie dieser. Die Enthemmungen der Seitentriebe sind also *nicht konstant*, sondern derselben Art wie die bekannten saisonmäßig auftretenden Enthemmungen an den *hirsutum*-Sippenbastarden und daher hier ohne besonderes Interesse. Wie später zu veröffentlichende Messungen zeigen, sind die Enthemmungen nicht sektorial verteilt. — Ganz anderer Art sind die Sprosse, die nach den bisherigen Untersuchungen tatsächlich auch in der folgenden Vegetationsperiode enthemmt bleiben, die sich experimentell bisher nicht wieder in die gehemmte Form zurückführen ließen und die in ihrem enthemmten Wachstum unabhängig von Umweltfaktoren sind. Im *Herbst* beginnen unter dem Einfluß des Kurztages die Knospen, die in den Achseln der stark gestörten Blätter liegen, anzuschwellen und *Ausläufer* zu bilden. Ein Teil der Knospen bleibt unentwickelt, die übrigen bilden zunächst kräftige Blätter vom Kurztagtypus, die aber noch ± unregelmäßige Reduzierungen der Spreite usw. zeigen. Einige Ausläufertriebe bleiben konstant auf dieser Stufe stehen,

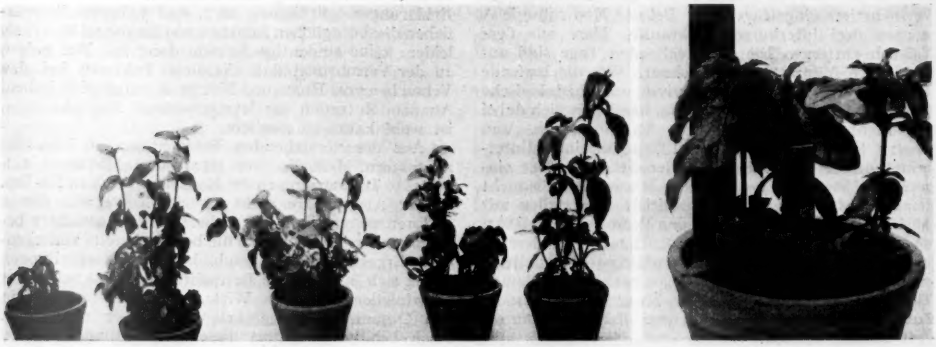


Fig. 1. Bastard *Epilobium hirsutum* Essen ♀ × *E. parviflorum* Tübingen ♂. Pflanzen verschiedenzeitiger Aussaaten und in verschiedenen Gewächshäusern aufgewachsen. Rechts Keimung unter 10-Stunden-Tag bei 20—25°. Der Hauptsproß liegt stark gehemmt dem Boden an; die enthemmten Seitentriebe übertreffen ihn wesentlich an Höhe, werden dann aber ebenfalls gehemmt.

während beim Rest die Enthemmung mit jedem neugebildeten Blatt weiter fortschreitet (Fig. 2), bis vom 4. oder 5. Blatt ab nur noch völlig normale Blattpaare ausgebildet werden, die von der Gegenkreuzung nicht mehr zu unterscheiden sind. Die teilweise oder ganz enthemmten Sprosse können nebeneinander an derselben Pflanze entstehen. Sie sind nicht sektorial verteilt. Diese unter dem

Fig. 2. Links Ausläufer der nicht gestörten *parviflorum* × *hirsutum*-Kreuzungen, rechts solche der stark gestörten reziproken Kreuzung, die teils schwach, teils völlig enthemmt sind.

Einfluß des Kurztages entstandenen Sprosse behielten im Gegensatz zu dem erstgenannten Typ und zu den enthemmten Sprossen der *hirsutum*-Sippenbastarde sowohl den Winter über als Rosette wie in der nächsten Vegetationsperiode als ausgewachsene Laubsprosse (Beobachtung zur Zeit bis Juni) ihren Störungsgrad bei, d. h. sie blieben weitgehend oder ganz enthemmt. Die völlig enthemmten Laubsprosse zeigen gegenüber der reziproken Kreuzung nur mehr Unterschiede in der Pollenfertilität.

Da, wie erwähnt, die Enthemmungen der *hirsutum*-Sippenbastarde mit dem Längerwerden der Kurztage zurückgehen, wurde versucht, die Enthemmungen der *hirsutum* ♀ × *parviflorum* ♂-Bastarde durch Behandlung mit 16- bis 24-Stunden-Tag von Nitralicht und mit Temperaturen von 1—45° zum Verschwinden zu bringen. Zudem wurden von den so gezogenen Sprossen laufend Stecklinge gemacht, damit die gespeicherten organischen Reservestoffe möglichst schnell aufgebraucht wurden (s. oben). Es ergab sich, daß die ± enthemmten Sprosse auch in der 6. vegetativen Generation unter dem künstlichen Langtag ihren Hemmungsgrad konstant beibehielten! Weder der natürliche Wechsel der Umweltbedingungen noch experimentelle Behandlung konnten die durch Kurztageinflüsse erworbene Enthemmung rückgängig machen (Fig. 3). Es liegt hier sonach der interessante Fall vor, daß bestimmte *kontrollierbare Umweltfaktoren die Plasmon-Genom-Disharmonien mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch Änderung des genetischen Bestandes zum Verschwinden* bringen konnten. Die Erfassung der Wirkung dieser durch den Kurztag ausgelösten Faktoren ist im Gange. Zur Entscheidung der verschiedenen Möglichkeiten der genetischen Fixierung der permanenten Enthemmungen werden derzeit Untersuchungen von MICHAELIS und BRÜCHER vorgenommen. Die von BRÜCHER offengelassene Möglichkeit einer Entmischung eingedrungenen Pollenschlauchplasmas kann weitgehend ausgeschlossen werden, da die enthemmten Sprosse *nicht* sektorial über die Pflanze verteilt sind.

Müncheberg-Mark, Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung (Erwin Baur-Institut), den 28. Mai 1942.

H. Ross.

---

[1]) MICHAELIS, Über reziprok verschiedene Sippenbastarde bei *Epilobium hirsutum*. I—VI. Z. Vererbungsl. **78**, 187 (I), 223 (II), 295 (III) (1940); (IV) (1942); (V) (1942); VI (1942).

[2]) ROSS, Über die Verschiedenheiten des dissimilatorischen Stoffwechsels in reziproken *Epilobium*-Bastarden und die physiologisch-genetische Ursache der reziproken Unterschiede. II. Planta (Berl.) **32**, 447 (1942).

[3]) ROSS, Über den Einfluß den Photoperiode auf die Manifestation der plasmabedingten Störungsmerkmale. In Bearbeitung. 1943.

[4]) BRÜCHER, Spontanes Verschwinden der Entwicklungshemmungen eines Artbastardes. Flora (Jena) N. F. **34**, 215—228 (1940).

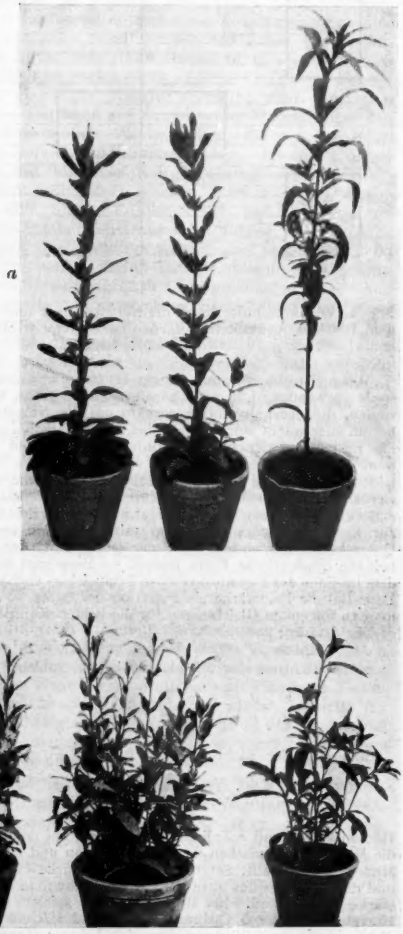


Fig. 3. Von links nach rechts *Epilobium parviflorum* × *hirsutum*, *E. hirsutum* × *parviflorum* völlig enthemmt und schwach enthemmt, a) Pflanzen direkt aus den Ausläufern erwachsen, b) dieselben Pflanzen in der 5. Stecklingsgeneration.

Ein Magnetfeld großer Homogenität für die Wilsonsche Nebelkammer.

Bei Arbeiten mit der Nebelkammer tritt häufig die Aufgabe auf, genaue Impulsmessungen von geladenen Teilchen durchzuführen. Dazu ist ein möglichst homogenes Magnetfeld erforderlich, das sich über einen größeren Raum erstreckt. Es ist daher vielleicht von Interesse, ein hierfür im Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie gebautes Magnetfeld näher zu beschreiben, bei dem eine besonders große Homogenität bei zugleich beträchtlicher Intensität des Feldes erreicht wurde auf Grund einer von F. AUERBACH gemachten Angabe über die günstigste Form des Wicklungsquerschnitts einer Helmholtz-Spule.

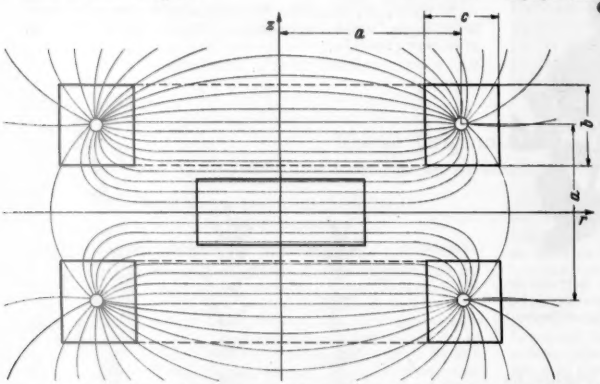


Fig. 1. Vertikalschnitt durch die Nebelkammer und die Magnetspulen mit dem Bild der Äquipotentialflächen zweier Kreisströme (etwa $^1/_6$ der natürlichen Größe).

Wie meist üblich, wurde die sog. HELMHOLTZsche Doppelspule verwendet, d. h. zwei parallele gleich große Magnetspulen, die oberhalb und unterhalb um die Nebelkammer herum angebracht wurden. Hierbei wurde jedoch genau auf die Einhaltung der von HELMHOLTZ angegebenen Anordnung[1]) zur Erzeugung eines fast völlig homogenen Magnetfeldes geachtet, bei der zwei parallele Kreisströme benutzt werden, die genau im Abstand ihres Radius fließen. Nach AUERBACH[2]) kann man nun das HELMHOLTZsche Prinzip auch zur Erzeugung stärkerer Felder mittels Spulen endlichen Querschnitts verwenden, wenn der Querschnitt der Spulen beinahe quadratische Form besitzt. — Berechnet man aus dem im Falle des HELMHOLTZschen Doppelrings vorhandenen Potential die Feldstärke als Funktion des Ortes, so gelangt man zu folgenden Gleichungen für die beiden Komponenten der Feldstärke:

a) in Richtung der Mittelachse beider Spulen:

$$H_z = \frac{8}{5\sqrt{5}} \cdot \frac{J}{R}\left(1 - \frac{9}{10}\frac{z^4}{R^4} + \frac{432}{125}\frac{z^2 r^2}{R^4} - \frac{54}{125}\frac{r^4}{R^4}\right),$$

b) in radialer Richtung:

$$H_r = \frac{8}{5\sqrt{5}} \cdot \frac{J}{R} \cdot \frac{72}{125} \cdot \frac{z \cdot r}{R^2}\left(4\frac{z^2}{R^2} - 3\frac{r^2}{R^2}\right).$$

Hierbei sind z und r Zylinderkoordinaten, bei denen $z = 0$ die Mittelebene zwischen den beiden Spulen und $r = 0$ ihre Mittelachse darstellt. Setzt man die Stromstärke J in Ampere und den Spulenradius R in cm ein, so erhält man die Feldstärke H in Gauß. Bei der Feldstärke spielen also nur Korrektionsglieder 4. Ordnung in z/R und r/R eine Rolle; die quadratischen Glieder heben sich bei der HELMHOLTZschen Anordnung der beiden Kreisströme gerade weg. Ersetzt man die HELMHOLTZschen Drahtschleifen durch rechteckige Spulen beliebiger Windungszahl, so bleibt nach AUERBACH die Homogenität des Feldes in weitem Bereich unverändert, wenn die Höhe des Spulenquerschnitts das 1,097fache seiner Dicke (in radialer Richtung gemessen) beträgt. In den obigen Formeln für die Feldstärke ist dann die Stromstärke noch mit der Zahl der Windungen einer Spule zu multiplizieren. Für den Radius des Kreisrings R ist eine Größe einzusetzen, die dem Abstand a der Mitte des Spulenquerschnitts von der Achse ungefähr gleich ist. Sie berechnet sich aus diesem sowie der Höhe b und der Dicke c des Spulenquerschnitts (vgl. Fig. 1) nach G. MIE[3]) zu:

$$R = a\left(1 + \frac{1}{8}\frac{b^2}{a^2} - \frac{1}{4}\frac{c^2}{a^2}\right), \quad \text{wobei } b/c = 1{,}097.$$

Das aus den obigen Formeln theoretisch zu erwartende Äquipotentialflächenbild ist in Fig. 1 wiedergegeben. Die Größenverhältnisse der verwendeten Spulen und der Nebelkammer sind darin eingezeichnet. Wie man sieht, ist das Feld innerhalb des Kammerraumes sehr homogen. Eine praktische Ausmessung des Feldes bestätigte weitgehend den theoretisch zu erwartenden Feldverlauf, wie im einzelnen aus Fig 2 ersichtlich. Die Inhomogenität beträgt demnach bei 5 cm Abstand von der Kammermitte nur $^1/_4$ %, am Rande der Kammer etwas über 1 %. In einem Raum von 16 cm Durchmesser und 6 cm Höhe beträgt die durchschnittliche Abweichung von der Homogenität ungefähr $3\,^0/_{00}$. (Falls noch erheblich größere Homogenität erforderlich wäre, genügte es, den Radius der Spule um wenige cm zu vergrößern.)

Für die Spulenwicklung wurde 2 mm dicker, seidenumsponnener Kupferdraht verwendet. Der mittere Spulenradius betrug 17,5 cm, die Breite der Spule 7 cm und ihre Höhe folglich 7,7 cm (bei der Wicklung der Spule wurde auf genaue Einhaltung des gewünschten Querschnitts sorgfältig geachtet). Jede Spule besitzt etwa 1150 Windungen. Eine kleine sich ergebende Differenz im Widerstand beider Spulen wurde durch einen Zusatzwiderstand ausgeglichen, so daß in beiden Spulen bei Parallelschaltung genau der gleiche Strom floß. Ein Strom von 40 Amp erzeugte im Kammerraum eine Feldstärke von 2000 Gauß. Da die vorhandene

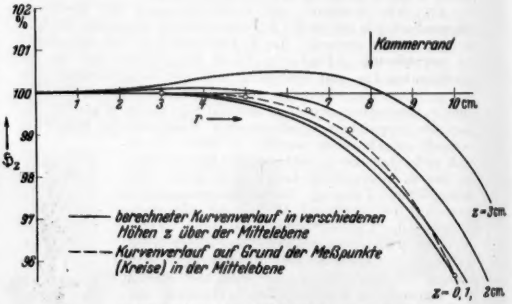


Fig. 2. Abhängigkeit der Feldstärke vom Radius.

Stromquelle von 140 Volt Spannung zur Erzeugung eines so großen Stromes bei einem Spulenwiderstand von 7 Ω nicht ausreichte, wurde jede Spule zur Halbierung ihres

[1]) H. v. HELMHOLTZ, Vortrag in der Sitzung vom 16. III. 1849 der Berliner Physikal. Gesellschaft.

[2]) Vgl. WINCKELMANNS Handbuch der Physik, 2. Aufl. (1905) 4, 263.

[3]) Handb. d. Experimentalphysik 11, Tl. 1, 43.

[4]) (Zu S. 495): Über eine ähnlich gebaute Helmholtz-Spule zur Erzeugung eines Magnetfeldes für einen β-Spektrographen, doch ohne exakte Einhaltung der AUERBACHschen Bedingung, J. D'ESPINE, Ann. Physique 16, 5 (1931).

Widerstandes in der Mitte unterteilt. Durch jede der parallelgeschalteten Spulenhälften konnten dann Ströme bis zu 40 Amp Stärke geschickt werden. Eine besondere Kühlung der Spulen war nicht erforderlich, da sie nur während der Zeit der Expansion der Nebelkammer eingeschaltet wurden.

Das beschriebene Magnetfeld hat sich schon während mehrerer Jahre im Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie bewährt[4]). Diese Veröffentlichung hat sich aus äußeren Gründen verzögert.

Berlin-Dahlem, den 20. Mai 1942. KURT SAUERWEIN.

Besprechungen.

BAUR, F., **Einführung in die Großwetterforschung.** (Mathem.-Physik. Bibl. I/88. Hrsg. v. W. LIETZMANN u. W. KLIEFOTH.) Leipzig u. Berlin: B. G. Teubner. 2. Aufl. 1942. 53 S., 14 Abb. Preis kart. RM 1.20.

Der rasche Aufbrauch der ersten im Jahre 1937 erschienenen Auflage dieses kleinen, aber inhaltsreichen Büchleins ist wohl ein Hinweis auf das Interesse, das die Forschungen und Einrichtungen von F. BAUR genießen. In nun 20jähriger zielstrebiger Arbeit hat er mit dem von ihm geschaffenen Forschungsinstitut ein neues Betätigungsfeld der Meteorologie erobert. Während die Wetterdienststellen vornehmlich die Aufgabe pflegen, an Hand des in den Wetterkarten niedergelegten Beobachtungsmaterials Schlüsse auf das *Wetter* der nächsten 24 bis 48 Stunden zu ziehen, hat sich das Institut BAUR vorgenommen, die Grundlagen für eine weitergehende *Witterungs*vorhersage zu schaffen. An die Stelle der rasch wandernden Hoch- und Tiefdruckgebiete, von denen das *Wetter* eines bestimmten Tages abhängt, werden die Aktionszentren der Atmosphäre überwacht, von deren Lage und Art die *Witterung* eines längeren Zeitraums abhängt. Im Gegensatz zu dem Begriff des Tageswetters ist damit das „Großwetter" erfaßt worden, das selbst wieder von höheren Einheiten abhängt.

Die vorliegende Einführung in diese neue Aufgabe des Wetterdienstes, die naturgemäß nur an einer Forschungsstelle großen Stils betrieben werden kann, enthält sowohl einen gedrängten Bericht über die Tätigkeit des Instituts wie über die Grundlagen für eine langfristige Witterungsvorhersage, die im wesentlichen darauf hinauslaufen, rechtzeitig zu erkennen, wenn eines der für das Wetter maßgeblichen Hoch- und Tiefdruckgebiete *stationär* wird, so daß sich ein gleichbleibender *Charakter* des meteorologischen Geschehens einstellen kann. Wir brauchen zur Erläuterung nur etwa an den uns allen in schmerzlicher Erinnerung befindlichen Winter 1941/42 zu denken, in dem das auch in anderen Wintern vorhandene russische Hochdruckgebiet besonders weit und hartnäckig nach Westen ausgriff. Die möglichst frühzeitige Erkenntnis gerade der Beharrlichkeit bestimmter Großwetterlagen ist das Ziel der BAURschen Forschung.

Das Büchlein gibt Einblick in die Methodik der Großwetterforschung und läßt erkennen, wie vielseitig die Unterlagen sind, die für dieses Ziel in Anspruch zu nehmen sind. Da man ganz großzügig die Hoch- und Tiefdruckgebiete als Turbulenzkörper der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre ansprechen kann, gehört zur Überwachung der Atmosphäre ebenso die Berücksichtigung der variablen Energiezufuhr durch die Sonne wie der ungeheuer abwechslungsreichen Verwertung derselben durch unsere Atmosphäre, die man erst als Ganzes verstehen muß, ehe man an die lokalen Besonderheiten denken kann. Die Erde nimmt aber die Anregungen durch die Sonne nicht sklavisch entgegen, sondern verändert selbst die Ausbeute ihrer Energiespende. Von den dafür in Betracht kommenden Faktoren zieht BAUR vor allem die Vulkanausbrüche, die Achsenschwankungen der Erde, die Änderungen der Meeresströmungen und der Eisverhältnisse der Polargebiete heran, die uns deutlich erkennen lassen, daß die Erde selbst an dem meteorologischen Geschehen mitarbeitet.

Daneben sind kosmische Einflüsse zu berücksichtigen, aber nur in sehr bescheidenem Ausmaße der Einfluß von Mond und Planeten, der in Erinnerung an das astrologische Zeitalter immer noch überschätzt wird; dagegen in steigendem Maße die Einwirkung der Schwankung der Sonnenstrahlung und insbesondere der leider etwas zu populär gewordenen Sonnenflecken. Wir sind noch weit entfernt, die Zusammenhänge klar zu durchschauen, und müssen uns daher vor Spekulationen hüten, wie BAUR ebenso ruhig wie eindrucksvoll darlegt.

Das BAURsche Institut betreibt also *Ganzheitsforschung* und kann auf Grund seiner Erkenntnisse den Wetterdienststellen Winke geben, die sie für ihren engeren Bereich auszuwerten haben. An einem dieser Erfolge hat bis zum Kriegsausbruch auch die Allgemeinheit teilnehmen können: Den 10-Tage-Vorhersagen, die unter Zuhilfenahme einer besonderen Rechenmethode (Mehrfachkorrelationen), die ebenfalls von BAUR durchgeformt wurde, das voraussichtliche Großwetter der nächsten Dekade mitteilten. An dem Bedauern über die durch den Krieg bedingte Einstellung dieser bereits gut eingelebten Einrichtung kann man entnehmen, wie beliebt sie bereits geworden war. Die Fortschritte, die das BAURsche Institut seit dem Jahre 1937 in seinem Arbeitsgebiete erzielt hat, konnten naturgemäß in der 2. Auflage noch nicht veröffentlicht werden, die darum recht wenig von der ersten abweicht. Es war nur Gelegenheit gegeben für kleine Verbesserungen und Ergänzungen, von denen vor allem die neuen Bilder 13 und 14 hervorzuheben sind, auf denen die Linien gleicher Korrelationskoeffizienten des mittleren Luftdrucks der Vordekade über Europa mit dem mittleren Luftdruck der Folgedekade in Potsdam eingetragen sind. An Hand dieser beiden Bilder bekommt man einen guten Einblick in die ungeheuere Arbeit, die am Homburger Institut geleistet wurde, ehe es mit der 10-Tage-Vorhersage an die Öffentlichkeit treten konnte.

Unwillkürlich wird man daran denken, ob sich nicht die Frist für Vorhersagen noch weiter ausdehnen lassen wird, was wirtschaftlich eine ungeheuere Bedeutung hätte. Die Wege hierzu ahnt man an Hand der BAURschen Ausführungen: Ausbau zu einem Institut für Weltmeteorologie; das Programm ist in der BAURschen Broschüre niedergelegt, seine Ausführung wäre eine Aufgabe für eine geeinte Menschheit! SCHMAUSZ.

Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor" 1925—1927. Herausgeg. von A. DEFANT im Auftrage der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft. Bd. XIII. 4. Lieferung: **Das Netzplankton des südatlantischen Ozeans.** Eine Zusammenfassung von ERNST HENTSCHEL, Mitglied der Expedition. Berlin u. Leipzig: Walter de Gruyter u. Co. 1941. 164 Seiten (S. 245—308). 26 Textabb. u. 1 Beilage. Preis brosch. RM 6.50.

In der vorliegenden Abhandlung sucht Verf. ein Bild von dem Netzplankton, d. h. dem Mikro- und

Mesoplankton der „Meteor"-Expedition zu geben, indem er auf den leider nicht vollständigen Gruppenbearbeitungen fußend sich wiederum von diesen zu emanzipieren versucht, um das Plankton allein als solches zu betrachten. Leider fehlen viele Tiergruppen in der Grundlage, so die Hauptmenge der Calanoiden Copepoden, die Gruppen der Ostracoden, Schizopoden, Amphipoden und Pteropoden sowie die Larvenformen aller wichtiger Tiergruppen. Nichtsdestoweniger gibt Verf. eine Analyse des gesamten Planktons[1]) und fängt mit einer Darstellung der Vertikalverteilung, sowohl der quantitativen wie der qualitativen, an.

In der quantitativen Verteilung findet Verf. 4 Typen von Kurven: „1. Kurven mit Maximalwert an der Oberfläche, konkavem Verlauf und asymptotischer Annäherung an die vertikale Nullinie in den größeren Tiefen", „2. Kurven mit Maximum am Oberende und S-förmigem Verlauf des oberen Teils", „3. Kurven mit Maximum unterhalb der Oberfläche. Der untere Teil der Kurve ist meist konkav, der obere konvex, konkav, S-förmig oder unregelmäßig" und „4. Kurven mit mehreren Maxima und mehr oder weniger unregelmäßigem Verlauf". — Bei der Besprechung der qualitativen Schichtung leuchtet es wiederum klar vor, daß ein Ganzbild überhaupt nicht gegeben werden kann. Jede Gruppe und oft auch die einzelnen Arten zeigen ihr Sonderbild, und im vorliegenden Falle wird auch dies unvollständig, da die Verteilung der Larven- und Jugendstadien sowie Beobachtungen über die täglichen Vertikalwanderungen nicht gegeben werden können.

Die Meridionalverteilung gibt auch nicht besonders eindeutige Ergebnisse. Die Betrachtung der „Meridiane als Linien", wo insbesondere die Beziehungen zu Jahresisothermen analysiert werden, erhellt abermals deutlich die Individualität der Gruppen und Arten, und es läßt sich in der Tat geographisch äußerst wenig über das gesamte Plankton als Ganzes genommen aussagen. Die Verhältnisse stellen sich ziemlich ähnlich, wenn man Meridionalschnitte statt der Linien studiert. Als Hauptbeispiel wurde im wesentlichen der Meridian 30° WL herangezogen und analysiert. „Die Ausbildung zonalvertikaler Verbreitungstypen erweist sich im einzelnen als recht mannigfaltig." — Bei der Untersuchung der „latitudinalen Verteilung des Planktons" gelangt die Bearbeitung zu etwas günstigeren Resultaten. Hier gesellen sich die Planktonten gewissermaßen mehr zu größeren Gruppen, die bei der „Zungenbildung" an dieser oder jener Seite des Ozeans zusammenwirken. Bei der Zungenbildung zeigt dann die ganze (biozoenotische) Gruppe einen positiven oder einen negativen Charakter. „Mit all diesem Material dürfte zur Genüge erwiesen sein, daß Unterschiede in ostwestlicher Richtung, latitudinale Unterschiede, durchaus zum typischen der Bevölkerung des Ozeans gehören. . . . Wir kommen daher zu dem Ergebnis, daß in meridionaler Richtung qualitative Unterschiede des Planktons um vieles häufiger sind, als in latitudinaler Richtung."

Auf breiterer Grundlage wird demnach „Die regionale Verteilung des Planktons" unter stetiger Berücksichtigung der vom Verf. früher gegebenen Karte der „Gesamtplanktonverteilung" analysiert. Dabei werden in vielen Fällen Übereinstimmungen der Hauptzüge festgestellt, in anderen wiederum Gegensätze (so bei den Appendicularien). Lohmann hat schon früher gewisse Teile des atlantischen Ozeans als Gedeihgebiete und Kümmergebiete charakterisiert auf Grund der Planktonverhältnisse. Verf. bevorzugt die Bezeichnungen eutrophe und oligotrophe Gebiete in Analogie mit der limnologischen Terminologie, da Wattenberg gezeigt hat, daß die genannten Regionen durch ihren Nährstoffgehalt gekennzeichnet sind. Diese Gebiete spiegeln sich auch in dem Auftreten der Mikro- und Mesoplanktongruppen ab, wiewohl auch hierbei Gruppen und Arten negative Bilder geben können. Die Heterogenität des geographischen Gesamtbildes erhellt besonders klar aus der beigefügten Tabelle über das Auftreten der untersuchten Gruppen in den verschiedenen südatlantischen Gebieten (und „Zungen"). Die Ursachen findet man dann in den nachfolgenden Abschnitten erläutert, worin die Beziehungen zu den verschiedenen Umweltfaktoren etwas näher besprochen werden.

Bei einer Besprechung der Strömungsgebiete erwähnt Verf., daß es nicht die Strömung an sich ist, die die Planktonbevölkerung bestimmt, sondern ihre Rolle als Trägerin bestimmter trophischer und thermischer Lebensbedingungen. Nur an Strömungsgrenzen findet man „Verschleppungen", die als Belege dienen können, daß die Strömung durch eine bestimmte Planktonbevölkerung gekennzeichnet sei. — Der Vergleich der ozeanischen Region mit den Küstengewässern führt wiederum zu dem seit langem anerkannten Satz „Einerseits stellen sich die Küstenwässer als Ganzes der Hochsee gegenüber als selbständige Region dar, . . . andererseits aber sind die Küstengewässer Gebiete starker örtlicher Unterschiede und damit ein Bereich für die Ausbildung von Kleinregionen, wie denn z. B. eine Flußmündung als eine solche betrachtet werden kann."

In einer sehr interessanten Zusammenfassung „Die Faktoren der Verbreitung" zieht Verf. aus den in dem „Meteor"-Werke über die einzelnen Planktongruppen gegebenen Sonderarbeiten die verschiedenen „Deutungen" heran, die von den Ursachen der geographischen Bilder gegeben worden sind. Wiewohl die Temperatur in vielen Fällen ersichtlich einen entscheidenden Grenzfaktor darstellt, so muß man auch stets darauf aufmerksam sein, daß es äußerst schwierig ist, den tatsächlich entscheidenden Faktor (oder mehrere solche) aus dem Erscheinungskomplex herauszulösen. Mag sein, daß die augenscheinliche „Temperaturgrenze" in der Tat eine indirekte ist, indem dahinter z. B. Nahrungsproduktion oder andere Verhältnisse stecken und auf irgendeine Art unheilsam einwirken, wenn sie durch die Temperatur ausgelöst werden. Man sollte überhaupt manchmal bei der Deutung besser einen weiteren Bereich, einen Faktorenkomplex, als einen oder einige wenige Teilfaktoren als Ursache heranziehen.

Auf Grundlage der gegebenen Erwägungen und Darlegungen entwirft Verf. eine Karte von den Hauptgebieten des Netzplanktons im südatlantischen Ozean, in der Tat eine planktonisch-biozoenotische Kartierung, die einen ganz anderen Charakter als seine früher erwähnte Karte über die Verteilung des „Gesamtplanktons" aufweist. Der Zusammenhang mit den physisch-ozeanographischen Verhältnissen tritt in der Karte von den Hauptregionen des Netzplanktons deutlich hervor.

Hjalmar Broch, Oslo.

[1]) Verf. hat leider früher sehr unglücklich den Teil des gesamten Planktons als „Gesamtplankton" bezeichnet, der „die Summe aller Individuen des Planktons bezeichnet, wie sie sich aus den Zentrifugen ergab". In seinem „Gesamtplankton" fehlt somit das Mikro-, Meso- und Makroplankton.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Fritz Süffert, Berlin W 9.
Springer-Verlag in Berlin W 9. — Druck der Spamer-A.-G. in Leipzig.